

EFEITOS DO N, P, K, S E ZN NO DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO MINERAL DO ARROZ (*Oryza sativa* L.), CV. IAC 47 E IAC 435.

*DOMINGOS FORNASIERI FILHO*

Orientador: Prof. Dr. *EURÍPEDES MALAVOLTA*

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Novembro - 1982

*A meus pais e sogros*

*Catarina e Domingos*

*Nair e Miguel*

OFEREÇO

*À Solange, minha esposa*

e

*Mariana, minha filha*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Prof. Dr. *Eurípedes Malavolta*

Prof. *Godofredo Cesar Vitti*

*Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.*

*Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, "Campus" de Jaboticabal da Universidade Estadual Paulista.*

*Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa.*

*FAPESP*

*Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.*

*Fundação "Judith Buzaid"*

*Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias "Campus" de Jaboticabal da Universidade Estadual Paulista.*

*Departamento de Ciências Exatas da Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias "Campus" de Jaboticabal da Universidade Estadual Paulista.*

*Seção de Radioquímica e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.*

A todos aqueles que, com amizade e incentivo, contribuíram positivamente para a realização deste trabalho.

## Í N D I C E

	Página
1. INTRODUÇÃO. . . . .	1
2. REVISÃO DE LITERATURA. . . . .	4
2.1. Nitrogênio (N) .. . . .	4
2.2. Fósforo (P) . . . . .	13
2.3. Potássio (K) .. . . .	20
2.4. Enxofre. . . . .	26
2.5. Zinco. . . . .	34
3. MATERIAL E MÉTODOS. . . . .	40
3.1. Cultivares utilizadas. . . . .	40
3.2. Instalação e condução. . . . .	41
3.3. Tratamentos utilizados. . . . .	44
3.4. Aspectos estudados. . . . .	46
3.5. Análises químicas. . . . .	49
3.6. Delineamento experimental e análise estatística .	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO. . . . .	53
4.1. Exigências minerais do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. . . . .	53
4.2. Distúrbios nutricionais causados por deficiência de N, P, K, S e Zn em plantas de arroz. . . . .	66
4.3. Determinação dos teores críticos dos nutrientes N, P, K, S e Zn contidos em folhas recém maduras do arroz no estágio de primórdia floral. . . . .	78
5. CONCLUSÕES. . . . .	131
6. LITERATURA CITADA. . . . .	134



EFEITOS DO N, P, K, S E Zn NO DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E  
COMPOSIÇÃO MINERAL DO ARROZ (*Oryza sativa* L.),  
CV. IAC 47 E IAC 435.

Candidato: *DOMINGOS FORNASIERI FILHO*

Orientador: Prof. Dr. *EURÍPEDES MALAVOLTA*

R E S U M O

Foram conduzidos em solução nutritiva, estu  
dos sobre os efeitos de doses crescentes dos nutrientes ni  
trogênio, fósforo, potássio, enxofre e zinco em arroz (*Oryza*  
*sativa* L.) cultivares IAC 47 (de sequeiro) e IAC 435 (irrigado), com o objetivo de se determinar suas exigências mine  
rais, diagnosticar os distúrbios nutricionais causados pela  
deficiência dos nutrientes citados e estabelecer os teores  
foliares de deficiência, críticos, adequados e excessivos a  
produção de grãos. Os resultados possibilitaram estimar as  
exigências nutricionais das cultivares IAC 47 e IAC 435, on  
de as diferenças encontradas foram consequência do nível de  
produção e do teor dos elementos na matéria seca. Foram des  
critos os sintomas de carência dos nutrientes em estudo, com  
exceção do enxofre, em cujas plantas não se constatou sinto  
mas foliares, provavelmente por contaminação externa. Os teo  
res foliares de deficiência, críticos, adequados e excessi

vos dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e zinco e as razões entre tais nutrientes foram determinados e verificados não serem os mesmos para ambas as cultivares. Os resultados demonstraram a influência das condições genéticas e ambientais sobre a concentração de um dado nutriente, razão pela qual os resultados obtidos deverão ser usados apenas como um guia para a diagnose do estado nutricional do arroz.

EFFECTS OF N, P, K, S AND Zn ON GROWTH, YIELD AND MINERAL  
COMPOSITION OF THE RICE PLANT (*Oryza*  
*sativa* L., CV. IAC 47 and IAC 435

Author: *DOMINGOS FORNASIERI FILHO*

Adviser: Prof. Dr. *EURÍPEDES MALAVOLTA*

S U M M A R Y

Nutrient solution experiments were carried out with two rice cultivars, IAC 47 (upland) and IAC 435 (wetland) with increasing levels of N, P, K, S and Zn.

The aims of the trials were the following:

(1) to determine the comparative mineral requirements of the two varieties;

(2) to obtain information which would allow for the diagnosis of nutritional disorders caused by the imbalance of the elements under study;

(3) to establish leaf levels, as well as ratios of elements which were adequate for yield formation.

Main conclusions:

(1) differences found in the mineral requirements of the two cultivars do exist, being due, both to yield and

dry matter levels, and to variations in content of elements in the plant material;

(2) symptoms of deficiency were observed with respect to all elements under study, except S;

(3) leaf levels of N, P, K, S, and Zn considered to be deficient, adequate and excessive were not the same for the varieties; the same as true with respect of ratios of elements;

(4) the results obtained showed that growth conditions affect the mineral composition of the rice plant which suggests that caution should be observed when such data are used in the evaluation of the nutritional status.

## 1: INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) constitui-se no principal alimento de, aproximadamente, metade da população mundial. Entre as culturas grãíferas apenas é ultrapassado em área cultivada e produção pelo trigo.

A produção mundial deste cereal foi estimada no ano agrícola 1977/78 em 36,2 milhões de toneladas, apresentando-se como principais países produtores, China (34,8%), Índia (19,5%), Indonésia (6,8%), Bangladesh (5,3%), Tailândia (4,3%) e Brasil (2,4%), conforme citação de METCALFE e ELKINS (1980).

O Brasil é, pois, o principal produtor do Hemisfério Ocidental. Entretanto, a produtividade brasileira, da ordem de 1300 kg/ha em cultura de sequeiro e 2000 kg/ha na irrigada, é inferior à obtida pelo Japão no ano de 1950 e bastante inferior à atual produtividade japonesa de 4500 kg/ha (NOMOTO, 1969; SIMÕES, 1979). Em consequência, para atender à crescente demanda de arroz, estimada em 8,7 milhões de toneladas em 1980/81 (SÃO PAULO, 1980) e se remunerar adequadamente o setor orizícola, é necessário procurar aumentar a produtividade média brasileira, de forma a fazer face ao custo crescente da terra e dos insumos agrícolas.

O aumento da produtividade apenas será possível com a resolução integrada dos principais fatores condicionadores da baixa produtividade brasileira, quais sejam: predomínio de sequeiro; controle fitossanitário inadequado; utilização de cultivares com baixa capacidade produtiva e pouco responsáveis à adubação, em especial, a nitrogenada; utilização inadequada de fertilizantes em qualidade, quantidade e época de aplicação. Para se atender a este último fator é necessário dedicar especial atenção aos aspectos relativos à nutrição mineral da planta do arroz, pois, muito embora sejam numerosas as pesquisas desenvolvidas em outros países, notadamente no continente asiático, para o Brasil os dados disponíveis são extremamente limitados.

.3.

Como os dados obtidos não podem ser aplicáveis diretamente às condições brasileiras, devido a diferenças varietais, de solo, de práticas culturais e de clima (BOWEN, 1981), objetivou-se, mediante a utilização das cultivares IAC 47 e IAC 435 representativas, respectivamente, de cultura de "sequeiro" e cultura "irrigada", sob condições de solução nutritiva:

a) determinar as exigências minerais do arroz em final do ciclo;

b) diagnosticar os distúrbios nutricionais causados por deficiências dos nutrientes N, P, K, S e Zn;

c) estabelecer os teores foliares de deficiência, críticos, adequados e excessivos para a produção de grãos, para os nutrientes N, P, K, S e Zn.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Nitrogênio (N):

2.1.1. Exigências nutricionais: o nitrogênio é considerado como o mais limitante nutriente para a produção comercial do arroz (EVATT, 1964), sendo entre os macronutrientes, o segundo mais exigido pelo arroz e o mais exportado como produto colhido. Na Tabela 1 constam as quantidades dos macronutrientes extraídos por diferentes partes da planta do arroz necessários para a produção de 1000 kg de grãos em casca, conforme proposto por diversos pesquisadores.

O nitrogênio é um nutriente ligado diretamente ao crescimento da planta; o seu consumo inicia-se lentamente a partir de germinação alcançando intensidade máxima no



TABELA 1. MICRONUTRIENTES EXTRAÍDOS POR DIFERENTES PARTES DA PLANTA DO ARROZ PARA A PRODUÇÃO DE 1000kg de GRÃOS EM CASCA

CULTIVAR	TIPO DE CULTURA	MEIO DE CULTURA	PARTE DA PLANTA	MATÉRIA SECA	Kg/ha							REFE. BOLA	
					N	P	K	Ca	Mg	S			
Dourado Açulha	Irrigada	Solo	Grãos + casca	1000	12,00	6,13	2,93						TAKAHASHI (1961)
			Palha	1701	8,53	4,26	25,16						
			TOTAL	2701	20,53	10,39	28,53						
Dourado Açulha	Irrigada	Vasos com solo	Grãos + casca	1000	4,18	2,70	0,23	0,35	1,28				GARC NTINI e BL NGO (1983)
			Palha	9151	22,56	1,60	28,60	7,79	7,09				
			TOTAL	10151	26,74	4,30	28,83	8,14	8,37				
IAC 435	Irrigada	Solo	Grãos + casca	1000	10,00	2,7	2,3	2,6	1,9				GEES (1973)
			Palha	-	9,0	1,6	44,7	4,6	3,4				
			TOTAL	-	19,0	4,3	47,0	7,2	5,3				
IAC 435	Irrigada	Solo	Grãos + casca	1000	11,6	1,97	4,31	1,02	1,02	1,47			FURUKAWI et alii (1977)
			Colmos e panículas	746	4,62	1,25	20,29	1,20	0,56	0,86			
			FOlhas	504	3,63	0,26	4,07	3,18	0,46	6,41			
TOTAL	2250	19,93	3,51	28,69	5,41	1,85	2,84						
IAC 435	Irrigada	Solução Nutritiva	Grãos + casca	1000	18,58	4,64	2,90	1,16	1,16	1,16			MEDIROS e MALAVOLTA (1980)
			Colmos e Panículas	4315	78,98	16,26	77,23	10,45	6,57	13,94			
			FOlhas	1917	49,36	2,90	22,07	12,77	5,23	9,29			
Raízes	563	3,71	1,74	4,64	2,32	0,58	1,74						
TOTAL	7795	155,63	25,55	109,85	26,71	13,94	26,13						
47	Sequeiro	Solução Nutritiva	Grãos + casca	1000	13,48	4,49	2,25	0,90	1,35	1,35			MEDIROS e MALAVOLTA (1980)
			Colmos e Panículas	2566	43,59	6,74	40,90	4,94	3,15	9,89			
			FOlhas	1109	26,97	1,35	13,03	8,99	3,59	7,64			
Raízes	422	6,92	3,15	3,59	3,15	0,90	2,25						
TOTAL	5097	90,34	15,73	59,77	17,98	8,99	21,12						
Diversas	Sequeiro	Solo	Grãos + casca	1000	10,58	1,96	2,89	0,49	1,42			LAPAR (1980)	
			Palha	989	7,55	0,44	22,55	5,59	3,11				
			TOTAL	1989	18,13	2,40	25,44	6,08	4,53				
Diversas	Irrigada	Solo	Grãos + casca	1000	11,47	2,99	3,43	-	1,2	0,67		AGRICULTURA DE LAS AMERICAS (1981)	
			Palha	-	5,90	0,88	13,03	-	0,8	1,07			
			TOTAL	-	16,67	3,87	18,36	-	2,0	1,74			

florescimento (ISHIZUKA, 1964) ou no início do "cacheamento" (GARGANTINI e BLANCO, 1965). A sua absorção praticamente cessa a partir deste estágio, sendo o nitrogênio acumulado o responsável pelo fornecimento do mesmo no ciclo final da planta (REYES *et alii*, 1962; ISHIZUKA, 1964; GARGANTINI e BLANCO, 1965).

A concentração de nitrogênio (N) é maior nos estádios iniciais de desenvolvimento, tanto nas folhas e colmos como na espiga. A porcentagem de nitrogênio é alta no estágio de transplante (4,1% nas folhas e colmos), e gradualmente começa a decrescer como avançar do ciclo, ou seja, no estágio de vigoroso perfilhamento cai para 3,90% nas folhas e colmos; na formação do primórdio floral para 3,41% nas folhas e colmos; na elongação do colmo tem-se 2,18% nas folhas e colmos e 2,53% na espiga, no florescimento, 1,43% nas folhas e colmos 1,30% na espiga; e na maturação completa, 0,74% nas folhas e colmos e 1,26% na espiga (ISHIZUKA, 1964). Na maturação TAKAHASHI (1960) encontrou 0,60% nas folhas e colmos e 1,06% na espiga. No Brasil, em solução nutritiva, MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a), ao analisarem a concentração de nitrogênio em duas cultivares (IAC 47 e IAC 435) no estágio de maturação encontraram 2,26% e 2,62% nas folhas, 1,65% e 1,80% nos colmos e panículas, 1,75% e 1,90% nos grãos em casca, 1,30% e 1,59% nas raízes, respectivamente, em IAC 47 e IAC 435.

2.1.2. Resposta ao nitrogênio: a adubação nitrogenada determina quase sempre um aumento na produção de grãos (SANCHEZ, 1975) através da determinação da capacidade de produção durante a fase vegetativa e início da reprodutiva e, através da produção de assimilados, inclusive durante a fase de enchimento dos grãos (MURATA, 1969). Entretanto, a resposta do arroz à adubação nitrogenada é variável de região para região, provavelmente como decorrência da utilização de cultivares com maior ou menor resposta ao nitrogênio (TANAKA, 1964; CHANDLER, 1969; MURATA, 1969; TANAKA, 1969; MATSUSHIMA, 1976a); das reações de oxi-redução que se processam no solo, em especial nos solos inundados, (PATRICK e MIKKELSEN, 1971); a fixação biológica do nitrogênio atmosférico por bactérias e algas verde-azuis (CARNEIRO e DOBEREINER, 1968; KULASOORIYA *et alii*, 1980) especialmente, quando as algas se associam ao feto aquático *Azolla* (TALLEY *et alii*, 1977). De acordo com TANAKA (1964;1969) e MURATA (1969) há diferenças marcantes entre as cultivares de arroz. As de baixa resposta absorvem mais ativamente o nitrogênio, tem maior capacidade de crescimento vegetativo e menor habilidade de assimilação do nitrogênio em relação às de alta resposta. Isto faz com que a utilização de altos níveis de adubação nitrogenada em cultivares pouco responsíveis conduza a um intenso desenvolvimento vegetativo nos estádios iniciais de desenvolvimento e elevado índice de tomba

mento, com conseqüente menor eficiência fotossintética.

2.1.3. Deficiência e excesso de nitrogênio: o quadro sintomatológico geral da deficiência de nitrogênio segue a regra, exteriorizado através de clorose foliar, redução no crescimento da planta e no número de perfilhos e espiguetas viáveis (PEREIRA e CORDERO VAZQUEZ, 1964). De acordo com FAGERIA (1976b) e MATSUSHIMA (1980) quando ocorre deficiência de nitrogênio, as folhas são de menor tamanho, rígidas e erectas e tornam-se progressivamente amareladas de baixo para cima, o que para FUJIWARA (1964) é resultado de um menor teor de clorofila, antocianina, carotenóides e porfirinas. Posteriormente, tais folhas começam a morrer da ponta para a base, provavelmente como resultado da redução drástica na atividade fotossintética (FAGERIA, 1976b). O grau de secamento das folhas devido à deficiência de um dado nutriente ocorre, de acordo com MURAYAMA (1964) na seguinte seqüência:  $-K > -Mg > -P > -N > -S > -Ca$ . A redução no número de perfilhos em plantas deficientes em nitrogênio foi comprovada por PEREIRA e CORDERO VAZQUEZ (1964), FAGERIA (1976b) e MATSUSHIMA (1980). A razão disso é que, embora a diferenciação do primórdio dos perfilhos seja livre da influência ambiental, sua emergência e desenvolvimento são fortemente influenciados por fatores do meio, como disponibilidade de nitrogênio, fósforo, enxofre, radiação solar e temperatura (CHANDLER, 1969; ISHIZUKA, 1971).

O mais importante destes é a disponibilidade de nitrogênio (MURATA e MATSUSHIMA, 1978), e estima-se, durante o estágio de perfilhamento, ser necessário uma concentração foliar superior a 3,5% N para ativo perfilhamento; a 2,5%, o perfilhamento cessa, sendo considerado como o teor crítico de nitrogênio para o aumento no número de perfilhos; abaixo de 1,5% ocorre a morte dos perfilhos. (Ishizuka e Tanaka, 1963 em MURATA e MATSUSHIMA, 1978). Nas Filipinas, em arroz desenvolvendo-se em solução nutritiva constatou-se que o perfilhamento foi intenso, quando o teor de nitrogênio na lâmina foliar ativa se encontrava em torno de 4%, cessou a 2% e decresceu abaixo de 2% (IRRI, 1968a). O nitrogênio é também essencial ao desenvolvimento e funcionamento radicular. A emergência ativa das raízes apenas se realiza, quando o teor de nitrogênio na base do colmo for superior a 1%; sob tais condições, o teor de nitrogênio nas raízes em desenvolvimento está ao redor de 1,5%. Quando o teor de nitrogênio na base do colmo for 1% cessa a geração de novas raízes, havendo o prosseguimento da elongação radicular, o qual apenas cessa, quando o teor cair para 0,75% (MURAYAMA, 1964).

A aplicação excessiva de nitrogênio, em especial nas cultivares de baixa resposta, pode levar a um crescimento excessivo no índice de área foliar (IAF) provocando a deterioração do balanço fotossíntese-respiração (MURATA, 1969).

Em decorrência ocorre pequena acumulação de amido (baixa C/N) ocasionando maior tombamento, menor número de espiguetas férteis, maturação tardia e maior suscetibilidade ao frio, ao vento e a doenças como mancha foliar bacteriana e bruzone (ISHIZUKA, 1964; MATSUSHIMA, 1976b; MATSUSHIMA, 1976c; PRABHU, 1980). Isto foi corroborado por UEXKULL (1976) o qual constatou a nível celular, que altas concentrações de amins, aminoácidos e açúcares de baixo peso molecular, tornam o tecido vegetal mais suscetível ao desenvolvimento de muitos patógenos.

2.1.4. Interação do nitrogênio com fósforo, potássio e enxofre: de acordo com MATSUSHIMA (1976a) as concentrações de nutrientes nas plantas tendem a ocorrer em proporções relativamente específicas. Tais relações variam de acordo com a constituição genética das plantas e por fatores do meio. MALAVOLTA (1980) declara que as vezes, concentrações excessivas de um elemento acarreta uma redução na absorção ou mesmo um impedimento na utilização de outro elemento ou então mostra um efeito sinérgico.

O nitrogênio e o fósforo estão fortemente correlacionados com a produção de grãos, sendo esta máxima quando a relação N absorvido/P absorvido for 5/1 (BASAK, 1962). A adição de fertilizantes nitrogenados favorece a utilização dos

fertilizantes fosfatados (SIRCAR e SEN, 1971; EPPENDORFER e BILLE, 1974), possivelmente for promover melhor desenvolvimento radicular (GRUNES, 1959) ou por estimular fisiologicamente a planta, como conseqüente produção de compostos nitrogenados, muitos dos quais contendo ou exigindo fósforo (ARNON, 1975). De acordo com DEL RIVERO (1968), o efeito sinérgico do nitrogênio na absorção do fósforo depende da natureza dos adubos nitrogenados, pois normalmente o N-NH<sub>4</sub> aumenta a absorção do fósforo, e o N-NO<sub>3</sub> a reduz. Para MALAVOLTA (1980) tal comportamento é explicável pela teoria quimiosmótica de Mitchell.

Com respeito à interação nitrogênio e potássio, MAYNARD *et alii* (1968) verificaram efeito antagônico do nitrogênio sobre o potássio, quando o nitrogênio foi fornecido como N-NH<sub>4</sub>. Tal antagonismo seria conseqüência da estreita semelhança química entre os íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e K<sup>+</sup> (EVANS e SORGER, 1966). Entretanto, para MENGEL *et alii* (1976), o potássio não compete com o N-NH<sub>4</sub> pelo mesmo sítio do carregador, como também não afeta a absorção do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Em trigo, KOCK e MENGEL (1977) observaram que o K<sup>+</sup> (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) favoreceu a absorção do N total (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) e a translocação dos compostos nitrogenados das partes vegetativas para os grãos.

Há uma forte relação entre os teores de nitrogênio e enxofre nas plantas, o que determina o grau de adequa

cidade ou de deficiência de enxofre em arroz (DEV e SAGGAR, 1974), razão pela qual a interação em apreço sera abordada ao se estudar o enxofre.

2.1.5. Análise de plantas no diagnóstico do estado do nitrogênio: a análise de plantas está baseada na concepção de ser a concentração de um dado nutriente na planta, em um momento particular, o valor integrado de todos os fatores genéticos e ambientais que influenciaram na concentração do nutriente até o momento da amostragem (ULRICH e BERRY, 1961; ULRICH e HILLS, 1967; BOWEN, 1981). A determinação do estado nutricional de plantas por análise química de tecidos, depende, em grande parte, dos conceitos utilizados, (OHKI, 1977).

No Texas, WARD *et alii* (1973) consideram como teor adequado de nitrogênio, em folhas recém-maduras de plantas de arroz no estágio de diferenciação do primórdio floral ("ponto algodão") respectivamente 3,1%, 2,6% e 2,4% para as cultivares Bluebelle, Belle Patna e Nato, o que confirma a assertiva de ISHIZUKA (1969) de poder ser a concentração adequada a uma cultivar ser excessiva ou deficiente para outras.

Mikkelsen e Hunziker (1971) em WARD *et alii* (1973), em folhas recém-maduras encontraram como teor crítico



3% N e adequado 3 a 4% no estãdio de meio perfilhamento; no estãdio demãximo perfilhamento, 2,6% e 2,6-3,6%, respectivamente.

Em condições de campo, com a cultivar Colusa em estãdio de primõrdia floral, Thenabadu (1966) em WALLIHAN *et alii* (1974), encontraram 2,4-2,6% como nãivel adequado de nitrogênio na folha Y. Jã WALLIHAN *et alii* (1974), com a mesma cultivar amostrada na mesma idade fisiolõgica, porem se desenvolvendo em substrato de areia, obtiveram como nãivel adequado, concentraçãõ de nitrogênio na folha Y > 3,6%.

FAGERIA (1976b) encontrou em folhas recém matu ras do arroz, no estãdio de diferenciaçãõ da panãicula, como zona de deficiẽncia, < 1,8% de N; crãitica, 1,8-2,6%, e adequa da, 2,6-4,2%.

## 2.2. Fõsforo (P)

2.2.1. Exigẽncias nutricionais: muito embo- ra o fõsforo desempenhe importantes funções no metabolismo ve getal ẽ, entre os macronutrientes, em geral, o de menor exi gẽncia, porẽm ẽ o de maior exportaçãõ no produto colhido (Ta bela 1). Para REYES *et alii* (1962), cerca de 57% do fõsforo contido na planta do arroz na maturidade se acham na panãicula, ao passo que para KASAI e ASADA (1964), nos graos maduros es tãõ contidos 80% do fõsforo total da planta, principalmente sob a forma de fitina, ocorrendo tambẽm sob a forma de gluco se-1 fosfato e ẽcido ribonucleico.

As raízes do arroz absorvem o fósforo principalmente sob a forma de  $H_2PO_4^-$ . A absorção do fósforo, nos estádios iniciais de desenvolvimento é mais lenta que a do nitrogênio e enxofre, passando a ser rapidamente absorvido entre os estádios da iniciação da primórdia floral e florescimento, decrescendo a seguir de intensidade (PONNAMPERUMA, 1964). Com a cultivar Dourado Agulha, GARGANTINI e BLANCO (1965) observaram que a absorção do fósforo se apresenta de forma constante e contínua do início ao fim do ciclo, ocorrendo a maior intensidade de absorção até o "cacheamento". REYES *et alii* (1962) constataram em arroz transplantado ser a absorção relativa do fósforo da ordem de 34% no estádio de perfilhamento, 64% no florescimento, 74% no estádio de grão leitoso e 100% na maturidade. Para MURATA e MATSUSHIMA (1978), a absorção é mais intensa entre o perfilhamento e formação inicial da panícula. Na Índia, SINGH e SINGH (1980), constataram que a absorção do fósforo é da ordem de 7% entre a germinação e perfilhamento e de 56% do perfilhamento ao florescimento.

A concentração de fósforo (P) nos tecidos da planta do arroz é maior no estádio de plântula (0,44% nas folhas e colmos), decrescendo rapidamente após o transplante (0,21% nas folhas e colmos), aumentando gradualmente com a recuperação dos prejuízos causados pelo transplante e alcançando seu maior nível quando da formação da primórdia floral

(0,37% nas folhas e colmos). Esta alta concentração é mantida até o florescimento (0,35% nas folhas e colmos e 0,21% na panícula), ocorrendo a seguir a redução contínua do fósforo até o estágio de grão duro (0,15% nas folhas e colmos) em virtude de sua translocação para as panículas (0,31%) (ISHIZUKA, 1964).

2.2.2. Resposta ao fósforo: de um modo geral, nos solos sob regime de irrigação por submersão contínua, são escassas as respostas à adubação fosfatada e, quando ocorrem situam-se na categoria de baixa resposta. Já na cultura do arroz de sequeiro, o fósforo é quase sempre o elemento limitante da produção (ISHIZUKA, 1971, GOEDERT *et alii*, 1971; GIUDICE *et alii*, 1979) por ser menos disponível e sofrer intensa fixação nos solos tropicais aerados (YOSHIDA, 1975). Este distúrbio nutricional, pode ser atenuado pela utilização de cultivares capazes de suportar tal efeito adverso (PONNAMPERUMA, 1977; FAGERIA, 1980). A ocorrência de variações intra-específicas na absorção de nutrientes, refletem, em muitos casos, diferenças sob controle genético (EPSTEIN, 1975). Rabideau *et alii* (1950) e Lee (1960) sugerem que tais diferenças não indicam necessariamente que a cultivar com maiores quantidades de um dado elemento em seus tecidos tenham um mecanismo mais eficiente, podendo indicar que essa cultivar apenas possua um sistema radicular maior ou mais ramificado (EPSTEIN, 1975). No entanto,

para KOYAMA e SNITWONGSE (1971), as diferenças entre cultivares de arroz na resposta ao fósforo são dependentes exclusivamente de diferenças na utilização do fósforo e não da diferença no tamanho ou superfície das raízes. No Brasil, a existência de diferenças fisiológicas entre cultivares de arroz frente ao fósforo possibilitou a obtenção de cultivares com excelente tolerância a baixos níveis de fósforo no solo. Cultivares como a IAC 25 são consideradas como eficientes não responsáveis; já a IAC 47 mostra-se eficiente e responsiva (FAGERIA e BARBOSA F<sup>o</sup>, 1980; FAGERIA e KLUTHCOUSKI, 1980).

2.2.3. Deficiência de fósforo: no arroz, o fósforo tem grande influência no desenvolvimento da planta, principalmente no desenvolvimento do sistema radicular, na formação de perfilhos e na formação de grãos. A deficiência deste nutriente ocasiona uma menor relação parte aérea/sistema radicular. (PEREIRA e CORDERO VAZQUEZ, 1964; FAGERIA, 1976b); redução no número de perfilhos (MATSUSHIMA, 1980), redução na altura da planta (FAGERIA e WILCOX, 1977), embora para MATSUSHIMA (1980) tal não ocorra; atraso no florescimento e na maturação, diminuição na fertilidade da espiguetta e prejuízos na formação da panícula (PONNAMPERUMA, 1964; MATSUSHIMA, 1980), mas não se constata redução apreciável na composição da panícula ou no peso das sementes (PONNAMPERUMA, 1964). Com respeito ao efeito do fósforo no perfilhamento, nas Fili

pinas constatou-se que o perfilhamento foi muito ativo quando a concentração de fósforo (P) na lâmina foliar ativa foi de 0,2%, cessando quando próxima de 0,03%; porém no Japão para o ativo perfilhamento, a concentração de fósforo foi > 0,2% P, entre 0,2 a 0,09%, o perfilhamento cessava e < 0,09% P, os perfolhos começavam a morrer, o que sugere ser menor a exigência de fósforo para o perfilhamento nos trópicos (IRRI, 1968a). Nas folhas mais novas a deficiência de fósforo reduz seu número e comprimento e ocorre aumento no teor de sílica nas folhas e conseqüentemente a planta torna-se do tipo erecto (MATSUSHIMA, 1980). Os sintomas foliares de deficiência se iniciam nas folhas inferiores através do surgimento inicial de coloração verde escura e/ou verde púrpura, por aumentar o conteúdo de antocianina (FUJIWARA, 1964). Com a evolução da deficiência, as pontas das folhas inferiores tornam-se amarelo-alaranjadas, depois amarelo-claras e eventualmente cor de palha e finalmente morrem. Os sintomas da deficiência progridem do ápice da folha para a base e das folhas inferiores para as superiores (MURAYAMA, 1964; FAGERIA e BARBOSA Fº, 1980; MATSUSHIMA, 1980), ocorrendo a morte das folhas inferiores na seguinte ordem decrescente:  $K > -Mg > -P > -N > -S > Ca$  (PONNAMPERUMA, 1964).

2.2.4. Interação do fósforo com cálcio, magnésio, enxofre e zinco: o cálcio, quando em baixas concentrações

na solução do solo, mostra um efeito sinérgico em relação ao fósforo (ROBSON *et alii*, 1970). O magnésio também mostra efeito sinérgico sobre a absorção e o transporte de fósforo na planta (LOURENÇO *et alii*, 1968). Em solos deficientes em fósforo e enxofre, KUMAR e SING (1980) demonstraram o efeito sinérgico do enxofre sobre o conteúdo de fósforo das diversas partes da planta de soja e, de acordo com os autores citados, provavelmente como decorrência da íntima relação entre estes dois nutrientes em numerosos processos metabólicos ou então seria consequência de um melhor desenvolvimento radicular. O fósforo, quando em altos níveis, apresenta ação depressiva sob o teor de zinco em várias culturas (BAHIA e BRAGA, 1974). O local de ocorrência da interação é ainda controvertido, julgando alguns que ela se verifique no solo (Seatz e Jurinak, 1957 em SINGH e SINGH, 1980), ou na planta (MALAVOLTA e LOPEZ GOROSTIAGA, 1974). Para Seatz e Jurinak (1957), a causa da menor disponibilidade de fósforo e de zinco seria a formação de  $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$  no solo. Entretanto, Bowan *et alii* (1957), em BAHIA e BRAGA (1974), demonstraram que este composto pode ser usado como fonte de zinco para as plantas, com um efeito comparável ao do óxido e sulfato de zinco. Para MALAVOLTA e LOPEZ GOROSTIAGA (1974), o fósforo causaria: (a) inibição não competitiva na absorção do zinco; (b) precipitação do zinco na superfície das raízes; (c) menor transporte de zinco para a parte aérea; (d) efeito de diluição no zinco. Entretanto, o

fósforo nem sempre influencia negativamente a absorção de zinco, pois em arroz a inibição causada pelo fósforo sobre o zinco apenas ocorria, quando este micronutriente se encontrava em concentrações não adequadas no solo, podendo estimular sua absorção, quando o zinco se achava em níveis adequados (WALLACE, 1974). GIORDANO e MORTVEDT (1972) constataram em solos aerados ricos em fósforo, decréscimo no teor de zinco dos tecidos do arroz, mas o mesmo não ocorreu em solos inundados. Posteriormente, GIORDANO *et alii* (1974) sugeriram que nos solos inundados, as elevadas concentrações de ferro e manganês reduzidos estariam correlacionados com a absorção do zinco.

2.2.5. Análise de plantas no diagnóstico do estado do fósforo: de acordo com Velley (1956) em ANGLADETTE (1964), quando a folha "bandeira" do arroz no estágio de "emborrachamento" contiver  $< 0,18\%$  de P ou então na amostra composta de 2ª e 3ª folhas, o teor de P for  $< 0,12\%$  na prática pode-se esperar respostas da aplicação de fósforo em arroz. Para TANAKA e YOSHIDA (1970), o teor crítico de deficiência da lâmina foliar do arroz no estágio de perfilhamento é  $0,1\%$  P e para isso deve haver em média  $0,05$  ppm de P solúvel em água na solução do solo. Na maturação, teor de fósforo (P) de  $1\%$  na palha de arroz se mostra tóxico ao arroz. Em solução nutritiva, FAGERIA (1976a) determinou na parte aérea do arroz, no estágio de primórdia floral, como teores críticos ( $0,26-$

0,36% de P), teores adequados (0,36-0,48%) e tóxicos (> 0,8%).

### 2.3. Potássio (K)

2.3.1. Exigências nutricionais: o potássio é o macronutriente mais absorvido pela planta do arroz, mas apenas 10% do total absorvido se encontra nas partes reprodutivas (Tabela 1). A absorção do potássio pela raiz se dá como íon  $K^+$ , sendo prejudicada por excesso de  $Fe^{+2}$  ou de  $Na^+$  e  $Ca^{+2}$  na solução do solo (TANAKA e YOSHIDA, 1970) ou por inibidores respiratórios como sulfeto de hidrogênio, azida e cianeto, os quais decrescem a absorção radicular na seguinte sequência:  $K^+.H_2PO_4^- > Mn^{+2}.NH_4^+.H_2O > Mg^{++}.Ca^{++}$  (MITSUI, 1964). O potássio é absorvido continuamente pelo arroz até o estágio de "grão duro" (ISHIZUKA, 1964; FENG, 1968, YAMASAKI, 1968). Para REYES *et alii* (1962) embora o potássio seja absorvido continuamente pelo arroz, até o florescimento este cereal absorve 93% do potássio total. No Brasil, GARGANTINI e BLANCO (1965) constataram que sua marcha de absorção em muito se assemelha à do nitrogênio, ocorrendo até o "cacheamento", embora no estágio de "emborrachamento", praticamente 75% do total necessário já tenha sido absorvido, ocorrendo sua maior demanda no período compreendido entre 30 a 40 dias após a emergência, período em que para VELASCO e HOLASO (1958), o amido é sintetizado ativamente nas folhas, o potássio absorvido pela



raiz e conduzido à parte aérea pelo xilema e pelo floema e se dirige das folhas mais velhas para as mais novas, para as regiões em crescimento e para o fruto em desenvolvimento; em parte porque cerca de 75% do potássio total na planta se encontra em forma solúvel (MALAVOLTA, 1979a). As concentrações de potássio nas folhas e colmos é, no estágio de perfilhamento, de ordem de 2,51%; no primórdio floral 1,95% nas folhas e colmos, no florescimento, 1,16% nas folhas e colmos e 0,56% na panícula; no estágio "leitoso", 1,14% nas folhas e colmos e 0,52% na panícula; no "grão duro", 1,40% nas folhas e colmos e 0,41% na panícula, e na maturação, 1,64% nas folhas e colmos e 0,31% na panícula (ISHIZUKA, 1971). Já FURLANI *et alii* (1977), com a cultivar IAC 435 no estágio de maturação, encontraram 0,81% nas folhas, 2,72% nos colmos, 0,59% na casca e 0,38% nos grãos descascados. MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) encontraram nas cultivares IAC 47 e IAC 435 em estágio de maturação, respectivamente, 1,18 e 1,18% nas folhas; 1,60 e 1,84% nos colmos e panículas, 0,80 e 0,72% na raiz e 0,22 e 0,28% nos grãos em casca.

2.3.2. Resposta ao potássio: há poucos resultados demonstrativos da eficiência da adubação potássica em culturas irrigadas ou de sequeiro. Em parte, isto é consequência de ser o potássio facilmente absorvido pelas plantas, pois embora a quantidade de potássio trocável seja 1/10 do cálcio trocável, a planta absorve cerca de dez (10) vezes mais

potássio relativamente ao cálcio. Além do mais, a água de irrigação contém muito mais potássio que nitrogênio ou fósforo (TAKAHASHI, 1964). Atualmente, com a utilização de cultivares com altas respostas ao nitrogênio, há uma tendência de se elevar as doses de potássio para se evitar desequilíbrios na relação N/K (GIUDICE *et alii*, 1979), a qual deverá se manter em torno de 3,0 na planta (PATELLA e NEPTUNE, 1970).

2.3.3. Deficiência e excesso de potássio: a deficiência de potássio em arroz se manifesta inicialmente com surgimento de manchas vermelho-acastanhadas ao longo das nervuras das folhas inferiores (MATSUSHIMA, 1980); a seguir as pontas e margens das folhas mais velhas se tornam cloróticas e começam a morrer, com as margens se enrolando para cima (FAGERIA, 1976b). O grau de secamento das folhas inferiores devido a deficiência de um determinado nutriente, decresce na seguinte ordem:  $-K > -Mg > -P > -N > -S > -Ca$  (Ishizuka e Tanaka, 1960 em MURAYAMA, 1964). As folhas superiores são curtas, largas, curvadas para baixo, verde-escuras e, após a alongação dos internódios, manifestam-se manchas vermelho-acastanhadas (TANAKA e YOSHIDA, 1970; Matsuo, 1952 em MATSUSHIMA, 1980). A altura da planta é marcadamente menor, por ocorrer redução no alongamento dos entre-nós (FUJIWARA, 1964); os colmos são finos e o perfilhamento é levemente reduzido (TANAKA e YOSHIDA, 1970), mas para Kiuchi e Ishizaka (1961) em MURAYA

MA (1964), teor foliar < 1,50% K no estágio inicial de perfilhamento cessa o processo. Já nas Filipinas, o perfilhamento se mostrou muito ativo com concentração foliar de 1,5% K na lâmina foliar, cessando quando esta concentração atingiu 0,5% K (IRRI, 1968a). As raízes são curtas, finas, pouco ramificadas (Ishizuka e Tanaka, 1960 em MURAYAMA, 1964) e podres em alta porcentagem (MALAVOLTA, 1978b). Ocorre redução no comprimento das panículas, no número de espiguetas por panícula e no peso dos grãos, mas não afeta significativamente a composição química das panículas (FUJIWARA, 1964; FAGERIA, 1976b). A redução observada no número de espiguetas por panícula e no peso dos grãos é consequência: (a) do menor teor de amido nos grãos de pólen, o que afeta sua germinação (INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 1966); (b) ao retardamento na translocação de carboidratos para os grãos e ao desbalanceamento do equilíbrio adequado entre nitrogênio e potássio (MALAVOLTA, 1978b).

A deficiência do potássio provoca o acúmulo de carboidratos de baixo peso molecular e, de compostos nitrogenados, induzindo uma respiração mais intensa. Em consequência se reduz o acúmulo dos carboidratos fotossintetizados, com prejuízos na sua acumulação nos grãos ou para o suprimento de substratos respiratórios na raiz necessários à atividade metabólica radicular. Isto poderá reduzir ou mesmo impedir a absorção de nutrientes, especialmente do potássio e nos solos

mal drenados e degradados, possibilitará a intrusão de substâncias prejudiciais no interior da planta, causando doenças fisiológicas como "akagare" tipo I (BABA *et alii*, 1964; TANAKA e YOSHIDA, 1970). O acamamento do arroz e sua suscetibilidade a doenças, em especial, a *Piricularia oryzae* aumentam acentuadamente com a deficiência de potássio ou com o alargamento da relação N/K (YAMASAKI, 1968, MALAVOLTA, 1979b). O potássio aumenta a resistência ao tombamento por ocasionar a acumulação de substâncias constituintes da parede celular (celulose, lignina) e por aumentar a pressão de turgescência das células do tecido do colmo (MURAYAMA, 1964; MATSUSHIMA, 1976c). Entretanto, as vezes, o excesso de potássio, além de reduzir o perfilhamento e produção de grãos, pode aumentar a incidência de *Piricularia oryzae*, provavelmente por afetar a absorção de Mg e de  $\text{SiO}_2$  (YAMASAKI, 1968).

2.3.5. Interação do potássio com cálcio e magnésio: adubações pesadas de potássio estão normalmente, relacionadas com a redução na absorção de sódio, cálcio e magnésio e aparentemente estes quatro cátions competem pelo mesmo sítio de absorção, sendo o potássio mais efetivo nesta competição (DIJKSHOORN *et alii*, 1974). Entretanto, para a absorção do potássio, há a necessidade de concentrações adequadas de cálcio, em virtude deste cátion regular a estrutura e funcionamento das membranas (MALAVOLTA, 1979b). Em milho, GALLO

*et alii* (1968) estabeleceram as relações entre os teores foliares de potássio, cálcio e magnésio correspondentes a 80% da produção máxima de grãos, quais sejam: K/Ca: 2,44; K/Mg: 3,98; Ca/Mg: 1,65; K/Ca+Mg: 1,51.

2.3.6. Análise de plantas no diagnóstico do estado do potássio: para TANAKA e YOSHIDA (1970), o teor crítico de deficiência na lâmina foliar do arroz no estágio de perfilhamento é de 1% de K; entretanto, enfatizam que por ser o estado nutricional de um dado nutriente afetado por fatores como estado de outros nutrientes na planta ou no solo, cultivar, estágio de desenvolvimento da planta, clima, etc, este dado apenas deverá ser usado como guia para a diagnose do estado nutricional do potássio. No Texas, WARD *et alii* (1973), em plantas de arroz sem sintomas de deficiência de potássio, no estágio de diferenciação da panícula, constataram nas folhas recém-maduras a variação de 1,17-2,53% de K, sendo comum redução na produção, quando as concentrações de potássio são inferiores a essas taxas. Na Califórnia. Mikkelsen e Hunziker (1971) em WARD *et alii* (1973), nas folhas recentemente expandidas de plantas de arroz no estágio de diferenciação da panícula, os valores críticos (80-90% da produção máxima de grãos) e adequados (90-100% da produção máxima) encontrados foram, respectivamente, 0,8% K e 1,0-2,2% K. Já para FAGERIA (1976a), os valores críticos de potássio na parte aérea foram

3,7-4,0% K aos 50 dias e 3,50-3,62 aos 75 dias e os valores adequados, respectivamente, 4,00-4,62% e 3,62-3,99%. Posteriormente, FAGERIA (1976b) considerou como valores críticos de potássio na parte aérea de plantas com 75 dias de idade, 1-1,5% K e, como adequados, 1,5-4,0% K.

## 2.4. Enxofre (S)

2.4.1. Exigências nutricionais: o arroz apresenta baixa necessidade de enxofre, quando comparada com as solicitações de outras culturas como girassol, hortaliças, leguminosas e beterraba açucareira (JORDAN e ENSMINGER, 1958). As exigências quantitativas de enxofre pelo arroz são comparáveis as do fósforo (Tabela 1) e o seu conteúdo na planta se reduz com o avançar do seu desenvolvimento (BLAIR *et alii*, 1978). A principal rota de nutrição do enxofre para as plantas é a absorção do solo, embora as plantas possam absorver diretamente o enxofre atmosférico (SUZUKI, 1978). A taxa de absorção do enxofre é baixa nas três primeiras semanas de crescimento, atinge seu valor máximo no período compreendido entre perfilhamento e florescimento, declinando a seguir (ISHIZUKA, 1964; IRRI, 1972a) sendo, pois, muito semelhante à absorção do nitrogênio (ISHIZUKA, 1964). Após o florescimento, o enxofre estocado nas folhas e colmos começa a se translocar para as panículas e no final da granação, a palha e as panículas das

modernas cultivares de arroz removem quantidades similares de enxofre e nas cultivares tradicionais, os órgãos vegetativos removem cerca de 70% do total (IRRI, 1972a), com o que são concordes IAPAR (1980) e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a).

2.4.2. Resposta ao enxofre: embora o enxofre seja um nutriente vital para o desenvolvimento do arroz, praticamente, dos milhares de experimentos com fertilizantes realizados através do mundo, em apenas alguns destes se avaliou as necessidades deste nutriente pelo arroz, pois se considerava ser o suprimento de enxofre no solo, na água de irrigação e no ar suficientes para atender às exigências da planta (BLAIR *et alii*, 1978). Nos anos recentes, com a introdução de cultivares de arroz altamente produtivos, associada com a combinação de fatores adversos, como: (a) utilização de fertilizantes com baixo teor ou livres de enxofre; (b) baixo conteúdo de sulfato na água de irrigação; (c) decréscimo na utilização de inseticidas e fungicidas contendo enxofre; (d) baixo teor de matéria orgânica nos solos; (e) redução na utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia; (f) controle ambiental às emissões de dióxido de enxofre nas áreas industriais; (g) utilização de solos degradados submetidos a condições altamente redutoras, ocasionando a produção de  $H_2S$ , tem promovido o surgimento da deficiência de enxofre em diferentes partes do mundo e conseqüente aumento nos estudos so

bre o efeito do enxofre no arroz (BEATON, 1966; LOCKARD *et alii*, 1972; HAQUE e WALRUSLEY, 1974; WANG *et alii*, 1976b; BLAIR *et alii*, 1978; WANG, 1979; RAO *et alii*, 1980).

Ishizuka e Tanaka (1959) e Tokunaga (1969) constataram em solução nutritiva que 5 ppm  $\text{SO}_4^{-2}$  (1,7 ppm S) possibilitou bom crescimento do arroz e acréscimos adicionais de enxofre não aumentou a produção de grãos (TAKAHASHI, 1964), resultados esses semelhantes aos obtidos por RAO *et alii* (1980), também em solução nutritiva. Esse nível de enxofre está muito abaixo da concentração de sulfato na água de irrigação utilizada pelos agricultores japoneses, ou seja, média de 10,6 ppm  $\text{SO}_4^{-2}$  em 225 rios do Japão (TAKASHAHI, 1964). O arroz irrigado nas Filipinas pode recuperar até 54% do enxofre contido em água de irrigação com 6,4 ppm S, e como o arroz requer 300 g.  $\text{H}_2\text{O}/\text{g.M.S.}$ , poderá absorver 10 kg/ha S desta fonte, quantidade suficiente para produzir 5 ton. de grãos/ha (WANG, 1979). No Brasil, no entanto, WANG *et alii* (1976a; 1976b) constataram ser a deficiência de enxofre no solo e na água como fatores limitantes à produção de arroz nas várzeas do rio Jari, onde o teor médio de  $\text{SO}_4^{-2}$  nas águas do rio Jari e na água de chuva foram 0,2 e 0,1 ppm respectivamente. Na Nigéria, OSINAME e KANG (1975) constataram em plantas de cultivar OS-6 (tradicional), submetidas aos tratamentos 0 e 5 ppm S fornecidos no solo, sintomas severos da deficiência de enxofre; na IR-8 (porte bai



o e altamente perfilhadora) os sintomas da deficiência ocorreram nos tratamentos 0, 5 e 10 ppm S. Para ambas as culturas, a adição de 5, 10 e 20 ppm S aumentaram significativamente a produção de matéria seca e de grãos, por aumentar o número de panículas e o peso de 100 sementes, mas o mesmo não foi observado com adições superiores a 20 ppm. Na Indonésia, ISMUNADJI e ZULKARNAINI (1977) e ISMUNADJI e MIYAKE (1978), em solo contendo baixo conteúdo de enxofre, observaram que a aplicação deste nutriente aumentou a produção de grãos entre 12 a 45% e 1,7 a 2,5 vezes o conteúdo da metionina no grão de arroz.

2.4.3. Deficiência e excesso de enxofre: a deficiência de enxofre afeta a produção da planta e a qualidade da proteína, por ser constituinte da cistina, cisteína e metionina e, muito embora não faça parte da molécula de clorofila, a sua deficiência ocasiona a redução no conteúdo de clorofila em arroz (BLAIR *et alii*, 1978). As plantas carentes mostram redução na síntese de aminoácidos sulfurados, no nível de carboidratos, na atividade fotossintética, desordens na estrutura dos cloroplastos e aumento na relação N solúvel/N proteico (MALAVOLTA, 1978a). É um elemento muito pouco móvel no floema (EPSTEIN, 1975), razão pela qual o sintoma inicial de deficiência surge na bainha foliar das folhas mais novas, a qual se torna clorótica; a seguir, a clorose se estende para

a lâmina foliar e, gradualmente, toda a planta se mostra clorótica (SUZUKI, 1978). Os sintomas visuais da carência de enxofre se assemelham, durante os estádios iniciais, aos da deficiência de nitrogênio, porém, em estádios mais avançados, as plantas carentes em nitrogênio mostram intensa clorose e morte das folhas mais velhas (RAO *et alii*, 1980). As plantas deficientes em enxofre mostram um alongamento anormal das raízes e ausência de raízes secundárias e terciárias (IRRI, 1972a; RAO *et alii*, 1980); redução no número de perfilhos e na altura da planta; as plantas florescem tardiamente; as panículas são curtas e em reduzido número; o mesmo ocorre com o número de grãos por panícula (MURAYAMA, 1964; MALAVOLTA, 1978b; WANG *et alii*, 1976a; BLAIR *et alii*, 1978; RAO *et alii*, 1980).

Quanto aos sintomas de excesso de enxofre em arroz, RAO *et alii* (1980) não encontraram sintomas aparentes de toxidez em plantas submetidas a 200 ppm  $SO_4^{-2}$ , muito embora se mostrassem relativamente verde-escuras e com as raízes cobertas por uma fina crosta negra, aparentemente de sulfetos metálicos. No entanto, a aplicação de quantidades excessivas de sulfatos em solos pobres em ferro ativo e submetidos a condições fortemente redutoras, ocasiona sua redução para  $H_2S$ , o qual mesmo a concentrações menores de 0,1 ppm é tóxico ao arroz. O  $H_2S$  inibe a respiração e o poder oxidativo das raízes, ocasionando um retardamento diferencial na absorção de

nutrientes e água, levando a um desbalanceamento nutricional e conseqüente ocorrência da doença fisiológica "Akioishi" (PONNAMPERUMA, 1964; TANAKA e YOSHIDA, 1970; PONNAMPERUMA, 1972). Em solos normais, a presença de íons metálicos ( $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ) mantém a concentração de  $H_2S$  inferior a  $10^{-8}$  moles por litro, por formarem sulfetos insolúveis e relativamente estáveis em solos inundados (PONNAMPERUMA, 1964; ENGLER e PATRICK, 1973).

2.4.4. Interação do enxofre com nitrogênio: a taxa de N total/S total nas plantas tem sido utilizada como um indicador do estado do enxofre, desde que determinada quando ambos os nutrientes sejam fornecidos em quantidades adequadas, pois em arroz a taxa crítica foliar N/S em torno de 17/1 pode ocorrer mesmo quando ambos os nutrientes ocorram em teores deficientes. Valor superior à 17/1 na taxa N/S sugere eventual deficiência de enxofre com conseqüente redução na produção e no teor de proteína das plantas, e taxas inferiores meramente sugerem a possibilidade de acúmulo de uma grande quantidade de enxofre inorgânico (WALLIHAN e SHARPLESS, 1974). OSINAME e KANG (1975) encontraram como valores de N/S na palha das cultivares OS-6 e IR 20, respectivamente, 19,2/1 e 15,7/1 e concluíram que a taxa N/S não se mostrou eficaz para a determinação do estado de enxofre. Entretanto, para IRRI (1972a) e WANG (1979), o conteúdo de enxofre na planta e tão

útil quanto a taxa N/S e deve ser preferível por ser mais fácil de se obter.

2.4.5. Análise de planta para diagnosticar o estado do enxofre: para Sen (1938) em CHAPMAN (1966), plantas de arroz em final de ciclo apresentavam, quando com sintomas de deficiência de enxofre, 0,096-0,105% nos grãos e 0,053-0,062% S na palha e, em plantas normais, 0,114-0,126% S nos grãos e 0,100-0,118% na palha. WANG *et alii* (1976b) encontraram em plantas de arroz com sintomas de deficiência de enxofre, 0,039-0,040% S no grão e 0,016-0,025% na palha e, em plantas normais, 0,075-0,078% S no grão e 0,068-0,075% na palha. Nas Filipinas, de acordo com IRRI (1972a), estabeleceu-se o teor crítico de enxofre (%S) nas folhas e na palha do arroz em diferentes estádios de desenvolvimento. Para isso utilizou-se de dois índices:  $DC_{50}$  e  $DC_{100}$  representando, respectivamente, o conteúdo de enxofre (%S) necessário para se obter 50% e 100% da produção máxima de grãos. No perfilhamento, na lâmina foliar se encontrou  $DC_{50} = 0,06\%$  e  $DC_{100} = 0,16\%$  e na palha  $DC_{50} = 0,06\%$  e  $DC_{100} = 0,16\%$ ; no florescimento, na lâmina foliar,  $DC_{50} = 0,05\%$  e  $DC_{100} = 0,10\%$  e, na palha  $DC_{50} = 0,04\%$  e  $DC_{100} = 0,07\%$ ; na colheita,  $DC_{50} = 0,04\%$  e  $DC_{100} = 0,07\%$  e  $DC_{50} = 0,03\%$  e  $DC_{100} = 0,06\%$ , respectivamente. FAGERIA (1976a) em folha recém-madura de planta de arroz no estágio de perfilhamento, constatou ser indicativo de deficiência, teor de S

inferior a 0,10%; teores entre 0,10-0,20% como teores críticos entre 0,20-0,60%, como teores adequados maior de 0,60%, como excesso. Já OSINAME e KANG (1975), em arroz no estágio de florescimento, encontraram como teor crítico, 0,15% S na folha recém-madura e, na maturidade, 0,10% na palha e 0,12% nos órgãos.

## 2.5. Zinco (Zn)

2.5.1. Exigências nutricionais: Yanagisawa e Takahashi (1964) em TAKAHASHI (1964) constataram, sob condições de campo que a planta de arroz em final de ciclo contém teores de zinco em níveis apenas superados por ferro e manganês. As raízes das plantas absorvem o zinco na forma de íon  $Zn^{+2}$  e sob condições de fornecimento adequado deste nutriente no solo, a raiz pode acumular quantidades elevadas, o qual é redistribuído e utilizado pela parte aérea se ocorrer condições de deficiência (Carrol e Loneragan, 1968 em BRASIL SO *et alii*, 1979). A taxa de absorção do zinco é maior próxima ao estágio de iniciação da panícula (GILMOUR, 1977b; AGARWALA e SHARMA, 1979). SINGH e SINGH (1980) constataram que as plantas de arroz absorvem, até o estágio de perfilhamento, cerca de 7% do zinco total necessário; entre o perfilhamento e florescimento, cerca de 46% do total, e, em torno de 47% entre o florescimento e maturidade. A concentração de zinco na plan

ta do arroz é máxima no estágio de plântula, decresce ao mínimo no final do estágio de desenvolvimento vegetativo, volta a aumentar após a iniciação da panícula e tende a alcançar um segundo nível máximo no início do florescimento, decrescendo a seguir (GILMOUR, 1977a; GILMOUR, 1977b; WELLS, 1980). Para WELLS (1980), durante o estágio de desenvolvimento vegetativo, o sistema radicular por ser pouco desenvolvido não pode assegurar o fornecimento adequado de zinco; entretanto, na iniciação de panícula, a planta desenvolve um extenso sistema radicular capaz de suprir quantidades suficientes de zinco para aumentar sua concentração nos tecidos da planta e para aumentar a produção de matéria seca. No final do ciclo da cultivar IAC 435, FURLANI *et alii* (1977) constataram que a concentração de zinco nas diversas partes da planta decresce na seguinte ordem: colmo (42,8 ppm Zn) > casca (29,0 ppm) > grão (18,2 ppm) > folha (17,6 ppm). Para MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a), a concentração de zinco na cv. IAC 47 foi: folhas (33,5 ppm Zn) > grãos em casca (32,8 ppm) > raiz (27,3 ppm) > colmos e panículas (26,4 ppm) e para a cv. IAC 435, colmos e panículas (33,4 ppm Zn) > grãos em casca (31,7 ppm) > raiz (27,2 ppm) > folhas (27,0 ppm). Já para SINGH e SINGH (1980), a casca continha a maior concentração de zinco (29,6 ppm Zn), seguida pela palha (20,3 ppm) e grãos (12,5 ppm), mas na palha se achava retido 55% do zinco total, 24% nos grãos e 21% na casca.

2.5.2. Resposta ao zinco: dentre os micronutrientes de importância prática para a cultura do arroz, destaca-se o zinco. Somente na Ásia, mais de 2 milhões de hectares cultivados com arroz inundado sofrem sua deficiência (IRRI, 1970a) e, no Brasil, Lopes (1975) em GALRÃO e MESQUITA FÓ (1981), analisando 518 amostras de solos de cerrados, constatou que na maioria delas, o teor de zinco disponível no solo, extraído pelo método Carolina do Norte situava-se abaixo do nível crítico de zinco (1 ppm Zn).

As cultivares de arroz diferem marcadamente em suas suscetibilidades à deficiência de zinco (IRRI, 1970a, AID, 1972; IRRI, 1972b; AGARWALA e SHARMA, 1979), entretanto, em solos extremamente a moderadamente deficientes em zinco a aplicação de fontes de zinco é a única na prática capaz de corrigir o problema (IRRI, 1970a). Nas Filipinas, ao se testar 32 cultivares em solos deficientes em zinco, constatou-se em todas, sintomas de deficiência, apenas sobrevivendo aquelas onde os sintomas eram em menor grau e cujos tecidos, embora com < 13 ppm Zn, continham menores concentrações de magnésio e manganês relativamente às cultivares não sobreviventes (IRRI, 1972b). Já para CHAUDRY e ALAM (1977), a principal causa da suscetibilidade diferencial à deficiência de zinco em cultivares de arroz inundado é a grande diferença na absorção do ferro.

2.5.3. Deficiência e excesso de zinco: em plantas de arroz deficientes em zinco, as folhas apresentam o mesmo conteúdo de zinco, indiferentemente de sua posição e, em plantas supridas adequadamente deste nutriente, o conteúdo deste é relativamente maior nas folhas novas, o que comprova a relativa mobilidade do zinco na planta do arroz (IRRI, 1970a). O primeiro sintoma observado da deficiência de zinco é uma coloração verde-esbranquiçada, que se desenvolve na base do tecido de folhas jovens, de cada lado na nervura central em plântulas no início de perfilhamento; posteriormente, esta região clorótica adquire coloração ferruginosa, que se estende da base até a metade da lâmina foliar, e nas folhas em desenvolvimento uma clorose internerval. O tamanho da lâmina foliar se reduz, ocorrendo um alargamento na zona clorótica, permanecendo normal a bainha foliar (SOUZA e HIROCE, 1970; TANAKA e YOSHIDA, 1970, FLOR *et alii*, 1974; BARBOSA Fº e FAGERIA, 1980), podendo ainda ocorrer enrolamento foliar (AGARWALA e SHARMA, 1979). O crescimento da planta deficiente é severamente atrofiado, apresentando internós curtos e folhas muito próximas uma das outras; os perfilhos, quando presentes são muito frágeis e muitos deles não desenvolvem panículas (KARIM e VLAMIS, 1962; FLOR *et alii*, 1974; AGARWALA e SHARMA, 1979). As raízes se tornam fibrosas e relativamente moles ao tato, sendo afetado seriamente seu crescimento em comprimento e volume (KARIM e VLAMIS, 1962). O florescimento e a matura



ção são retardados e as panículas poderão apresentar redução no tamanho e com grãos mais leves (IRRI, 1968b; TANAKA e YOSHIDA, 1970; FLOR *et alii*, 1974).

O arroz, embora se mostre bastante resistente ao excesso de zinco, apresenta sintomas de atrofiamento, quando o conteúdo de zinco na planta exceder 2000 ppm (IRRI, 1970b). Em solução nutritiva, Tokuoka e Gyo (1939), constataram que a adição de 1 ppm Zn aumenta a produção do arroz, 5 ppm Zn mostrou efeito tóxico e 10 ppm Zn ocasiona a morte da planta (YAMASAKI, 1964; ISHIZUKA, 1971).

2.5.4. Interação do zinco com cobre, ferro e manganês: ao se submeter cultivares de arroz em solução nutritiva com alto teor de cobre ( $0,5 \mu\text{M}$ ) e de baixa concentração em zinco ( $0,14 \mu\text{M}$ ), RASHID *et alii* (1976), observaram redução da ordem de 65 a 76% na absorção do zinco; entretanto, quando se elevou a concentração de zinco para  $3,0 \mu\text{M}$ , o cobre não exerceu nenhum efeito na absorção do zinco. HALDAR e MANDAL (1981) constataram que a aplicação de zinco em três solos aluviais reduziu a concentração de cobre e ferro na parte aérea e raiz do arroz; o decréscimo observado na parte aérea não foi consequência do efeito diluição ou da redução na translocação dos elementos da raiz para a parte aérea, mas sim de mudanças na disponibilidade de cobre e ferro no solo com a apli

cação do zinco. Ao estudar a natureza da interação Cu x Zn, BRAR e SEKHON (1976a) concluíram que o cobre inibe competitivamente a absorção do zinco, não interagindo estes nutrientes durante o processo de translocação das raízes para a parte aérea.

Com respeito à interação Zn x Fe, BRAR e SEKHON (1976b) constataram em plântulas de arroz, que a absorção de zinco diminuiu de 85% com a elevação da concentração de ferro de 0 para 60  $\mu\text{M}$ , sendo também afetada a translocação do zinco e concluíram que o ferro afeta não competitivamente a absorção do zinco. White *et alii* (1974) em FOY *et alii* (1978), observaram que o acréscimo no fornecimento de zinco no solo, aumentou a translocação de manganês na parte aérea da soja e causou deficiência de ferro. Posteriormente, MANDAL e HALDAR (1980) e HALDAR e MANDAL (1981) constataram que a aplicação de zinco aumentava a absorção do manganês, por aumentar a disponibilidade deste último no solo. Entretanto, os resultados obtidos por outros pesquisadores sobre a interação Zn x Mn mostram que ambos os elementos competem pelo mesmo sítio de absorção (IRRI, 1970b; IRRI, 1972b; KATYAL e PONNAMPERUMA, 1974; REDDY *et alii*, 1978).

2.5.5. Análise de plantas para diagnosticar o estado de zinco: o teor crítico de zinco associado com sintoma

mas visuais de deficiência na planta do arroz está em torno de 10-15 ppm Zn na parte aérea da planta amostrada no estágio de perfilhamento (TANAKA e YOSHIDA, 1970; KATYAL e PONNAMPERUMA, 1974) ou 15 ppm Zn nas folhas (YAMASAKI, 1964). No estágio final do ciclo do arroz, MEDEIROS e MALAVOLTA (1980b), observaram sintomas de deficiência nas cultivares IAC 435 e IAC 47, quando os teores foliares de zinco eram respectivamente, 10,5 e 18,7 ppm Zn. Yoshida *et alii* (1973) em HAQUE *et alii* (1979) consideram que, se no estágio de perfilhamento o conteúdo de zinco na parte aérea da planta do arroz for inferior a 10 ppm Zn, a deficiência de zinco ocorrerá com certeza; entre 10-15 ppm, é muito provável; entre 15-20 ppm, é provável e, maior de 20 ppm é improvável sua ocorrência. Já para AGARWALA e SHARMA (1979), em plantas de arroz no estágio final de perfilhamento, concentração foliar entre 20-25 ppm Zn representa o limite, ou seja, valor em excesso representa suficiência e valor inferior representa o início da deficiência. No Brasil, BARBOSA Fº e FAGERIA (1980), utilizando como critério de normalidade a produção de grãos, consideram ser a concentração de zinco, na parte aérea de plantas de arroz no estágio de diferenciação do primórdio floral, deficiente, quando os teores são inferiores a 10 ppm Zn; críticos de 10-20 ppm Zn; adequados, de 21-150 ppm, e tóxicos maior de 500 ppm, teores estes bem abaixo do considerado como tóxico (> 1500 ppm Zn) por Ishizuka e Tanaka (1962) em TANAKA e YOSHIDA (1970).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

No ano agrícola 1979/80 foi conduzido o ensaio em solução nutritiva com duas cultivares de arroz sob condições de casa de vegetação junto ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da E.S.A. "Luiz de Queiroz"-USP, em Piracicaba-SP.

#### 3.1. Cultivares utilizadas

Utilizou-se de sementes certificadas de arroz grupo "indica" cultivares IAC-47 e IAC 435 recomendadas respectivamente para cultura de sequeiro e cultura irrigada. A IAC 47 é porte médio (115 -120 cm), com bom perfilhamento e de ciclo médio (130 - 135 dias), já a

IAC 435 apresenta porte alto (140 - 150 cm), bom perfilhamento ciclo tardio (140 - 150 dias).

### 3.2. Instalação e condução

3.2.1. Obtenção de mudas: as sementes foram submetidas a imersão em água sanitária diluída (1+10) por 5 minutos, a seguir lavadas com água destilada corrente e postas a secar no ambiente. As sementes tratadas foram distribuídas uniformemente sobre bandejas plásticas rasas contendo uma camada de vermiculita com 5 centímetros de profundidade e a seguir, cobertas com 1 centímetro de vermiculita. As bandejas germinadoras foram colocadas no ambiente normal da casa de vegetação e periodicamente irrigadas com solução de  $\text{CaSO}_4 \cdot 10^{-4}\text{M}$  até as plântulas apresentarem aptas ao transplante, ou seja, com folhas 2/0 no colmo principal, conforme proposto por EVATT (1964) e ISHIZUKA (1969). Plântulas estágio 2/0 foram retiradas cuidadosamente, selecionadas e submetidas à lavagem radicular em água de torneira e em água destilada, sendo então, transplantadas para bandejas plásticas de 35 litros de capacidade contendo solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon (1950) diluída a (1+10), à qual se agregou a solução de micronutrientes (Tabela 2) conforme proposto por MALAVOLTA (1975), tomando-se o cuidado de se omitir o reagente fonte de zinco na solução diluída, quando se obteve plantas de arroz para o estudo do micronutriente zin

co. O pH da solução foi mantido entre 5,3 a 6,0 (IMAI, 1977), e realizou-se o arejamento contínuo. Quando as mudas atingiram o estágio foliar 5/0 no colmo principal realizou-se o transplante definitivo.

TABELA 2. Composição da solução nutritiva utilizada em plântulas de arroz entre os estádios 2/0 e 5/0 no colmo principal (diluída 1 + 10).

Reagente	Solução completa (mℓ/ℓ)
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4 H <sub>2</sub> O M	4
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> M	1
KNO <sub>3</sub> M	6
MgSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O M	2
Solução a(*)	1
Solução b <sub>3</sub> (**)	1

(\*) dissolver e completar a 1 litro: 2,86 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + 1,81 g MnCl<sub>2</sub> + 0,22 g ZnSO<sub>4</sub> 7 H<sub>2</sub>O + 0,08 g CuSO<sub>4</sub> 5 H<sub>2</sub>O + 0,02 g H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O.

(\*\*) dissolver em 700 ml de água deionizada: 26,1 g EDTA + 26,8 ml NaOH N + 17,5 g FeCl<sub>2</sub>. Arejar durante uma noite, protegendo da luz; completar a 1 litro e conservar em escuro na geladeira.

3.2.2. Transplante definitivo e condução: mudas no estágio foliar 5/0 foram transplantadas para vasos plásticos de 3 litros de capacidade pintados externamente com Neutrol e tinta aluminizada, contendo solução nutritiva específica. Utilizou-se uma muda por vaso, fixando-a na região do colo em um dos orifícios da tampa do recipiente por meio de espuma plástica. A renovação da solução nutritiva ocorreu quinzenalmente e utilizou-se do arejamento a partir do final do florescimento, pois embora o oxigênio, necessário à respiração radicular, possa ser fornecido principalmente pelas folhas via caule e lacunas lisogênicas (OTA, 1969; YOSHIDA e BROADBENT, 1975), aparentemente as raízes das cultivares perdem, próximo ao florescimento, seu poder oxidativo (OKAJIMA, 1964; RUSSEL, 1973). Diariamente o volume dos vasos foi completado com água destilada e semanalmente determinou-se o pH com o "pH Meter Corning Digital 109", porém não houve necessidade de correção do mesmo. O controle fitossanitário, em especial, contra o ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), foi realizado com produtos específicos isentos de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e zinco em sua composição química.

### 3.3. Tratamentos utilizados

Utilizou-se dos tratamentos expostos na Tabe

TABELA 3. Tratamentos utilizados e suas respectivas composições químicas para o estudo dos efeitos dos nutrientes N, P, K, S e Zn nas cultivares de arroz IAC 47 e IAC 435.

Nutriente	Tratamentos Doses (ppm)	Solução Nutritiva Deficiente*	Reagentes (ml/ℓ sol. nutr. deficiente)					
			Na(NO <sub>3</sub> ) (M)	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (H)	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (H)	KCl (M)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (H)	ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O (0,11g/ℓ)
N	13		0,50	0,21	-	-	-	-
	26		1,00	0,40	-	-	-	-
	52	-N	2,00	0,90	-	-	-	-
	104		3,50	2,00	-	-	-	-
	208		7,00	4,00	-	-	-	-
P	2		-	-	0,06	-	-	-
	4		-	-	0,13	-	-	-
	8	-P	-	-	0,26	-	-	-
	16		-	-	0,52	-	-	-
	32		-	-	1,00	-	-	-
K	14		-	-	-	0,37	-	-
	28		-	-	-	0,75	-	-
	56	-K	-	-	-	1,50	-	-
	112		-	-	-	3,00	-	-
	224		-	-	-	6,00	-	-
S	4		-	-	-	-	0,125	-
	8		-	-	-	-	0,25	-
	16	-S	-	-	-	-	0,50	-
	32		-	-	-	-	1,00	-
	64		-	-	-	-	2,00	-
Zn	$6,30 \cdot 10^{-3}$		-	-	-	-	-	0,25
	$1,25 \cdot 10^{-2}$		-	-	-	-	-	0,50
	$2,50 \cdot 10^{-2}$	-Zn	-	-	-	-	-	1,00
	$5,00 \cdot 10^{-2}$		-	-	-	-	-	2,00
	$10^{-1}$		-	-	-	-	-	4,00

\*ver Tabela 4



la 3 para o estudo dos efeitos de n̄iveis crescentes de nitrogênio (N), f̄osforo (P), pot̄assio (K), enxofre (S) e zinco (Zn) em duas cultivares de arroz onde cada nutriente acha-se em 5 n̄iveis n̄o equidistantes, repetido em oito (8) vezes, estando sintetizados na Tabela 4, a composiç̄o qūmica das soluç̄es nutritivas deficientes nos nutrientes em estudo.

TABELA 4. Composiç̄o qūmica das soluç̄es nutritivas com omis̄o de N, P, K, S e Zn (ml/l).

Reagente	-N	-P	-K	-S	-Zn
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ M	-	4	4	3	4
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ M	-	-	1	1	1
M	-	6	-	5	6
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ M	2	2	2	-	2
$\text{K}_2\text{SO}_4$ 0,5 M	5	-	-	-	-
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,05 M	10	-	-	-	-
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-	-	-	1,5	-
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M	200	-	-	-	-
$\text{NH}_4\text{NO}_3$ M	-	-	3	1	-
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ M	-	0,5	-	-	-
Soluç̄o a*(Tabela 2)*	1	1	1	1	1**
Soluç̄o b <sub>3</sub> (Tabela 2)	1	1	1	1	1

\*utilizou-se nas soluç̄es nutritivas em que se omitiu o nitrogênio (-N) e o enxofre (-S), 0,44 g  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\ell$ .

\*\*n̄o se agregou a soluç̄o a, o reagente contendo Zn.

### 3.4. Aspectos estudados

3.4.1. Estabelecimento da concentração crítica dos nutrientes N, P, K, S e Zn: coletou-se em quatro (4) plantas por tratamento no estágio de primórdio floral, período de máximas diferenças nas concentrações de nutrientes (ISHIZUKA, 1969), as duas folhas mais recentemente maduras do colmo principal as indicadoras mais sensíveis do estado nutricional da planta de arroz (WARD *et alii*, 1973; OHKI, 1977). As folhas amostradas foram lavadas em água destilada, colocadas em sacos de papel e levadas diretamente para estufa de circulação forçada mantida a 70-80°C, onde permaneceram até atingir peso constante. A seguir realizou-se a pesagem e a moagem em moinho "Wiley" equipado com peneira de 40 mesh; o material assim obtido foi guardado em sacos impermeáveis, conservado em câmara seca e posteriormente submetido à digestão nitroperclórica e/ou sulfúrica. As plantas amostradas, em número de 4 por tratamento, foram imediatamente colhidas, separando-se raízes, hastes e folhas e após secagem até peso constante foram pesadas e eliminadas.

No final do ciclo, em 4 plantas por tratamento, procedeu-se à medição da altura do colmo principal (distância compreendida do colo da planta à bainha da folha "bandeira"), à contagem do número de panículas férteis e total e

finalmente a coleta das plantas, as quais foram separadas em raízes (estas foram lavadas em água destilada), colmos, folhas, hastes florais e grãos em casca. Estas foram colocadas em sacos de papel e após secagem em estufa de circulação forçada a ar, pesadas e eliminadas, exceto aquelas referentes ao tratamento mais produtivo, que foram armazenadas. Dentro de cada tratamento determinou-se o peso médio de 100 sementes através da pesagem de quatro (4) amostras de 100 sementes tomadas ao acaso.

Para o estabelecimento da concentração crítica dos nutrientes N, P, K, S e Zn, a fim de serem comparadas as produções de matéria seca total ou de grãos obtidas com a adição de doses crescentes de um dado nutriente, utilizou-se o critério de porcentagem (%) para expressar esses dados. Considerou-se para cada nutriente a produção máxima de matéria seca ou de grãos em casca, determinados através de equação polinomial, como igual a 100%, obtendo-se os demais em relação a esse valor. Para um dado nutriente, os teores críticos podem ser definidos como a variação na concentração na qual o crescimento da planta, no todo ou de uma determinada parte é reduzida em comparação com aquela de plantas com altos teores de nutrientes (ULRICH, 1948). Baseado, pois na produção de grãos em casca e no teor de um dado nutriente contido nas folhas recém-maduras do arroz no estágio de pri

mórdio floral, foram obtidas, graficamente e matematicamente os teores foliares deficientes, críticos, adequados e excessivos, conforme proposto por MARTIN e MATOCHA (1973) e FAGERIA (1976a, 1976b). Os teores de deficiência foram aqueles em que as plantas apresentaram produção menor que 80% do máximo; teores críticos, as plantas possuíam 80-90% do máximo; teores adequados, entre 90-100% da produção máxima; enquanto que nos teores excessivos, o excesso de nutrientes interferiu nos processos metabólicos causando redução na produção e sintomas de toxidez. Entretanto, quando a metodologia proposta não se mostrou viável por não se poder obter, através da análise de regressão polinomial, a produção máxima de grãos em casca, foi utilizado para a cultivar IAC 435, o critério de se considerar como teores adequados de um dado nutriente, aqueles capazes de possibilitar produções de grãos superiores a 36 gramas por planta; como teores críticos, 32-36, e como deficientes, menos de 32 gramas por planta. O critério em apreço foi baseado no fato da cultivar IAC 435 apresentar, de acordo com RAMOS *et alii* (1981), no sistema de arroz irrigado com transplante de mudas, um potencial de produção de 5000 kg/ha e, em geral, nos solos férteis são utilizados 125 mil covas por hectare (SOARES *et alii*, 1979). Para a cultivar IAC 47, adotou-se o mesmo procedimento.

#### 3.4.2. Diagnóstico dos distúrbios nutricionais

causados pela deficiência dos nutrientes N, P, K, S e Zn: foram realizadas, desde o transplante definitivo até a maturação, observações visuais semanais, anotando-se a sintomatologia observada e fotografando-se plantas com sintomas típicos de deficiência dos nutrientes N, P, K, S e Zn.

3.4.3. Determinação da produção de matéria seca e composição química das diferentes partes da planta em final de ciclo: as diferentes partes das plantas, coletadas ao final do ciclo, do tratamento mais produtivo de grãos para as cultivares IAC 47 e IAC 435, foram moídas e submetidas à digestão nitroperclórica e sulfúrica para posterior análise química.

### 3.5. Análises químicas

Os extratos obtidos através da digestão nitroperclórica e sulfúrica, foram enviados à Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA, para a determinação da concentração dos nutrientes, segundo os métodos constantes na Tabela 5.

A determinação do Cl foi realizada de acordo com método proposto por JOHNSON e ULRICH (1959).

TABELA 5. Métodos analíticos utilizados na determinação de nutrientes contidos na planta de arroz, pela Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA.

Nutriente	Método Analítico
N	Auto Analyzer Technicon II - Determinação em colorimetria de amônia com o complexo de indofenol azul.
P-Ca Mg-B Cu-Fe Mn-Zn	Plasma Atom Model 975 - Espectrômetro de plasma induzido em argônio
K	. Perkin Elmer 306 - Espectrofotometria de emissão em diluição por fluxo contínuo
S	. Turbidimetria em fluxo contínuo (KRUG <i>et alii</i> , 1977).

### 3.6. Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se do delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (cinco níveis para cada nutriente), cada um repetido quatro vezes. A análise de variância obedeceu a decomposição para os graus de liberdade exposta na Tabela 6. Os dados de número de panículas e de nº de colmos por planta foram previamente transformados. Para se comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos utilizou-se o teste de Tukey.

TABELA 6. Esquema da análise de variância utilizada para se medir o efeito dos diferentes níveis de um dado nutriente sobre a composição química e de matéria seca das diversas partes do arroz e sobre alguns caracteres fenológicos.

Causas de variação	G.L.
Tratamentos	4
Resíduo	15
Total	19

Posteriormente, mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau, foram determinadas as possíveis equações representativas das correlações

existentes entre os teores de um dado nutriente (N, P, K, S ou Zn), determinados nas folhas recém maduras de plantas no estágio de primórdio floral de ambas as cultivares, com as suas respectivas produções de grãos em casca.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Exigências minerais do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435 no final do ciclo.

4.1.1. Produção de matéria seca: os dados referentes à produção de matéria seca nas diferentes partes da planta de arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435 se acham na Tabela 7. A observação dos dados permite constatar a ocorrência de efeito varietal no acúmulo de matéria seca entre ambas as cultivares, com a IAC 435 mostrando maior potencial de produção de colmos e folhas. Este efeito varietal no acúmulo de matéria seca por diferentes cultivares de arroz também foi observado por FURLANI *et alii* (1977) e por MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a). Com respeito ao chamado "índice"grão/parte aérea" ("índice de colheita") os valores obtidos foram, respectivamente, 0,56 e 0,39 para as cultivares IAC 47 e IAC 435, sendo pois a cultivar IAC 47, relativamente a IAC 435, de maior eficiência na produção de grãos, provavelmente por aquela apresentar menor desenvolvimento vegetativo e menor sombreamento mútuo, o que propicia maior eficiência fotossintética, conforme proposto por TANAKA (1964). Entretanto, os índices "grão/parte aérea" obtidos se mostram inferiores aos observados por CHANDLER (1969) e MURATA (1969) nas "modernas" cultivares de arroz, também denominadas de "alta resposta ao

TABELA 7. Produção de matéria seca e concentração de nutrientes por diferentes partes do arroz, cultivares IAC47 e IAC435 sob condições de solução nutritiva, necessária à produção estimada de 1000 Kg de arroz em casca (Média de 4 repetições).

Cultivar e Matéria seca parte da planta	Concentração de nutrientes												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	pm	Fe	Mn	Zn
<b>IAC4</b>													
Raízes	188,63a	0,35c	1,21b	0,42b	0,19a	0,34d	14,00a	1430,00a	15,40c	2639,00c	22,25a	32,75ab	
Colmos	1071,28c	0,34c	4,53d	0,45b	0,50b	0,24b	12,00a	1637,50ab	8,90a	366,25b	115,75b	33,25ab	
Folhas	449,92b	0,27b	2,42c	1,91d	1,09d	0,50cd	38,00c	1615,00ab	11,10b	413,75b	352,25d	28,50a	
Raquis	83,89a	1,53a	0,20a	1,58b	0,82c	0,73c	26,25b	2320,00c	9,77ab	143,00a	229,25c	53,00c	
Grãos	1000,00c	2,20b	0,42d	0,37a	0,19a	0,16a	9,25a	1765,00b	8,57a	57,25a	47,00a	40,75b	
TOTAL	2793,72												
<b>IAC435</b>													
Raízes	184,95a	0,28b	1,13b	0,41b	0,17a	0,30c	6,75a	1370,00a	12,57b	2303,75b	15,50a	27,00a	
Colmos	1655,50d	0,30b	4,00d	0,38b	0,40b	0,22b	8,50a	1340,00a	7,12a	313,00a	67,50b	23,75a	
Folhas	600,38b	0,19a	2,23c	1,68d	0,96d	0,30c	27,50c	1585,00a	8,52a	386,50a	281,00d	28,00a	
Raquis	108,56a	1,40a	0,23a	1,50b	0,70c	0,54c	16,25b	1977,50b	8,35a	165,25a	213,00c	37,75b	
Grãos	1000,00c	2,15b	0,42c	0,40a	0,16a	0,15a	6,50a	1400,00a	7,47a	50,25a	37,75a	39,25b	
TOTAL	3549,39												
F <sub>IAC 47</sub>	100,3**	51,7**	37,9**	205,1**	306,4**	101,1**	38,8**	52,4**	24,4**	31,1**	911,8**	71,4**	20,5**
IAC 435	96,4**	126,1**	28,1**	178,2**	651,5**	382,2**	28,8**	68,5**	18,8**	21,4**	122,5**	448,4**	34,8**
CV (%)													
IAC 47	16,29	6,73	8,82	10,91	10,85	14,15	8,58	16,69	7,81	9,26	9,89	21,17	11,29
IAC 435	18,33	4,09	11,50	11,04	7,47	7,53	11,49	16,55	7,97	10,71	26,30	9,01	7,52
DMS (Tukey) (5%)													
IAC 47	198,94	0,28	0,06	0,48	0,17	0,17	0,05	7,26	299,00	2,17	156,43	70,90	9,29
IAC 435	284,10	0,15	0,07	0,45	0,11	0,07	0,06	4,74	267,12	2,06	369,86	24,19	5,12

\*\* Significativo ao nível de 1% de Probabilidade

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si

nitrogênio", onde o índice "grão/parte aérea" varia entre 0,9 e 1,3.

Através dos resultados constantes na Tabela 7, mediante a utilização do teste de Tukey a 5% para comparação entre médias, pode-se estabelecer as seguintes ordens decrescentes de produção de matéria seca nas partes da plantas das cultivares IAC 47 e IAC 435:

IAC 47: colmos  $\approx$  grãos > folhas > raízes  $\approx$  raquis

IAC 325: colmos > grãos > folhas > raízes  $\approx$  raquis

4.1.2. Composição mineral: através dos resultados contidos na Tabela 7, relativos à concentração de nutrientes nas diversas partes das duas cultivares de arroz, pode-se estabelecer mediante a utilização do teste de Tukey a 5%, as seguintes exigências decrescentes para cada um dos nutrientes, em uma dada cultivar:

(1) nitrogênio (N):

IAC 47: folhas > grãos > colmos  $\approx$  raízes  $\approx$  raquis

IAC 435: folhas  $\approx$  grãos > colmos  $\approx$  raízes  $\approx$  raquis

Estas sequências assemelham-se às obtidas por MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) e nelas se constata a elevada

concentração de nitrogênio nos grãos, relativamente as de  
 mais partes (exceto folhas), demonstrativo da intensa trans  
 locação deste nutriente em direção aos órgãos multiplicati  
 vos o que está de acordo com ISHIZUKA (1964) e FURLANI *et*  
*alii* (1977).

A observação dos dados constantes na Tabela 7  
 permitem constatar a ocorrência de maiores concentrações de  
 nutrientes em partes específicas da cv. IAC 47 relativamente  
 à IAC 435, o que comprova a existência de diferenças entre  
 cultivares sob controle genético, fato também constatado por  
 FURLANI *et alii* (1977) e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a). As con  
 centrações de nitrogênio e dos demais nutrientes em partes  
 específicas das plantas de arroz em final de ciclo para am  
 bas as cultivares, são superiores àquelas obtidas por outros  
 pesquisadores (TAKASHI, 1960; ISHIZUKA, 1964, GARGANTINI e  
 BLANCO, 1965; FURLANI *et alii*, 1977), consequência provável  
 do efeito de condições genéticas e/ou ambientais sobre a con  
 centração dos diferentes nutrientes (ULRICH e BERRY, 1961, AN  
 GLADETTE, 1964).

(2) fósforo (P):

IAC 47: grãos > colmos ≈ raízes > folhas > raquis

IAC 435: grãos > colmos ≈ raízes ≈ raquis > folhas

As sequências obtidas demonstram a intensa

translocação do fósforo contido nos tecidos da planta em direção aos grãos, concordando com os resultados conduzidos por diversos autores (REYES *et alii*, 1962; ISHIZUKA, 1964; KASAI e ASADA, 1964; GARGANTINI e BLANCO, 1965; FURLANI *et alii*, 1977).

(3) potássio (K):

IAC 47: colmos > folhas > raquis ≈ raízes > grãos

IAC 435: colmos > folhas > raquis ≈ raízes > grãos

ou seja, para ambas as cultivares, as sequências decrescentes de concentrações de potássio em partes específicas da planta foram as mesmas, com os grãos apresentando a menor concentração deste nutriente. O observado foi concorde aos resultados obtidos por TAKAHASHI (1960), GARGANTINI e BLANCO (1965) e ISHIZUKA (1971).

(4) cálcio (Ca).

IAC 47: folhas > raquis > colmos ≈ raízes > grãos

IAC 435: folhas > raquis > colmos ≈ raízes > grãos

ocorrendo, pois, a mesma sequência decrescente em ambas as cultivares, sequência essa semelhante à obtida por FURLANI *et alii* (1977) e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a). Este nutriente, foi entre os macros, o de menor concentração nos grãos, por sua reduzida translocação para os órgãos multiplicativos

sexuais, em razão de sua imobilidade no floema (MALAVOLTA, 1979b). As concentrações de cálcio nas diferentes partes da planta, para ambas as cultivares, são superiores aos teores considerados como críticos (0,36-0,45% Ca na parte aérea) por FAGERIA (1976a) em plantas na maturidade.

(5) magnésio (Mg):

IAC 47: folhas > raquis > colmos > raízes ≈ grãos

IAC 435: folhas > raquis > colmos > raízes ≈ grãos

sequências essas, que são as mesmas para ambas as cultivares e muito semelhantes às aquelas obtidas por GARGANTINI e BLANCO (1965) e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a), com os grãos apresentando a menor concentração. Os teores de magnésio nas diferentes partes da planta, para ambas as cultivares, mostram-se em níveis superiores aos considerados como críticos (0,10% e 0,12-0,17% Mg), respectivamente, por Ishizuka e Tanaka (1959) em TANAKA e YOSHIDA (1970) e FAGERIA (1976a), na parte aérea de plantas de arroz em final de ciclo.

(6) enxofre (S):

IAC 47: raízes ≥ folhas ≥ raquis > colmos > grãos

IAC 435: raízes ≈ folhas > colmos ≥ raquis ≥ grãos

com os grãos apresentando a menor concentração de enxofre e

raízes e folhas com os maiores teores concordando, pois, com as sequências observadas por MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) porém discordante daquela de FURLANI *et alii* (1977), os quais obtiveram maior concentração nos grãos. Os teores obtidos nas diferentes partes da planta para ambas as cultivares são superiores aos indicados como críticos (0,10% S na palha e 0,12% nos grãos) por OSINAME e KANG (1975), porém inferiores aos considerados como excessivos por Ponnampereuma (1964) em LOCKARD *et alii* (1972) em plantas no estágio de maturação dos grãos.

O elevado teor de enxofre total nas raízes indica que as plantas se desenvolveram durante todo o ciclo sob condições altamente suficientes de enxofre. Das raízes, o enxofre absorvido é conduzido até as folhas, onde sofre uma "transformação" para uma forma diferente daquela absorvida pelas raízes e somente depois disso sofre redistribuição, principalmente, para os grãos em formação (SUSUKI, 1980).

(7) boro (B):

IAC 47: folhas > raquis > raízes ≈ colmos ≈ grãos

IAC 435: folhas > raquis > colmos ≈ raízes ≈ grãos

sequências estas que se assemelham às obtidas por FURLANI *et alii* (1977) e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a), e onde se cons

tata a pequena translocação deste micronutriente em direção aos grãos. Os teores de boro constatados nas diferentes partes da planta para ambas as cultivares, acham-se na faixa considerada como adequada, por ser 3,4 ppm e 100 ppm de boro os teores críticos e de toxicidade, respectivamente, conforme determinado por Ishizuka e Tanaka (1959) em TANAKA e YOSHIDA (1970).

(8) cloro (Cl):

IAC 47: raquis > grãos ≥ colmos ≈ folhas ≥ raízes

IAC 435: raquis > folhas ≈ grãos ≈ raízes ≈ colmos

com a raquis apresentando a maior concentração de cloro, enquanto que FURLANI *et alii* (1977) obtiveram maior concentração nos colmos e MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) nos grãos. Os teores deste micronutriente nas diversas partes da planta de ambas as cultivares são muito superiores aos dos demais micros, ocorrência, também constada por KARIM e VLAMIS (1962) e FURLANI *et alii* (1977).

(9) cobre (Cu):

IAC 47: raízes > folhas > raquis ≈ colmos ≈ grãos

IAC 435: raízes > folhas ≈ raquis ≈ colmos ≈ grãos

sequências essas semelhantes às obtidas por MEDEIROS e MALA



VOLTA (1980a); entretanto, na cv. IAC 435, FURLANI *et alli* (1977) encontraram na casca e grãos, a maior concentração de cobre. Os teores obtidos nas diversas partes da planta para ambas as cultivares podem ser considerados como adequados, haja vista que KARIM e VLAMIS (1962) encontraram em plantas normais de arroz, no estágio de maturidade, 9,8-12,4 ppm Cu na parte aérea e 9,2-11,4 ppm nos grãos e, em plantas deficientes, respectivamente, 4,6-6,3 ppm e 3,1-4,9 ppm Cu. O teor de 30 ppm Cu na palha de arroz, considerado como excessivo por Ishizuka (1961) em TANAKA e YOSHIDA (1970), não foi atingido.

(10) ferro (Fe):

IAC 47: raízes > folhas ≈ colmos > raquis ≈ grãos

IAC 435: raízes > folhas ≈ colmos ≈ raquis ≈ grãos

com as raízes apresentando o maior teor de ferro, para ambas as cultivares, em razão da excreção radicular de  $O_2$  por parte da planta de arroz, o que oxidaria o  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$  e o depositaria sobre a superfície da raiz (Tanaka *et alli*, 1966) e/ou evitaria a translocação do ferro das raízes para a parte aérea (Tadano, 1975 em FOY *et alli*, 1978).

Estas sequências e os elevados teores de ferro nas diversas partes da planta de arroz em muito se aproxi

mam dos resultados obtidos por MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a), o que demonstra, segundo Clark *et alii* (1957) em WARD *et alii* (1973), ser a planta de arroz capaz de acumular altas concentrações de ferro (700 ppm Fe) e de manganês (10.000 ppm) e permanecer sadia. Os teores foliares de ferro, obtidos de plantas amostradas no estágio de primórdia floral (Tabela 19), respectivamente, 155 ppm Fe na cv. IAC 47 e 140 ppm Fe na IAC 435, estão dentro da faixa de adequacidade deste nutriente, ou seja acima do nível de deficiência (70 ppm Fe) proposto por Takagi (1966) e abaixo do de toxicidade (300 ppm Fe) em Tanaka *et alii* (1966) citados por TANAKA e YOSHIDA (1970).

(11) manganês (Mn):

IAC 47: folhas > raquis > colmos > grãos ≈ raízes

IAC 435: folhas > raquis > colmos > grãos ≈ raízes

sequências, pois, idênticas para ambas as cultivares e, diferentemente, do que ocorre com o ferro, o arroz acumula muito mais manganês na parte aérea que nas raízes, podendo acumular nas folhas velhas, de acordo com FOY *et alii* (1978) 6000-7000 ppm Mn. Os teores foliares de manganês na planta em estágio de primórdia floral (123 ppm Mn na IAC 47 e 107 ppm Mn na IAC 435, conforme resultados constantes na Tabela 19) mostram-se adequados, haja vista que autores como JONES (1972) e WARD *et alii* (1973) consideram como faixa de adequacidade

respectivamente, 30-600 ppm e 252-792 ppm Mn.

(12) zinco (Zn):

IAC 47: raquis > grãos ≥ colmos ≈ raízes ≥ folhas

IAC 435: grãos ≈ raquis > colmos ≈ raízes ≈ folhas

A sequência obtida com a IAC 435 identifica-se com aquela de MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) e nela se observa elevada concentração de zinco nos grãos. Para SINGH e SINGH (1980), a casca do arroz contém o maior teor de zinco (29,6 ppm), seguida pela palha (20,3 ppm) e grãos (12,5 ppm); entretanto, estes dados não são discordantes dos obtidos, porque os grãos não foram descascados. Além do mais, os teores foliares de zinco em plantas no estágio de primórdia floral (Tabela 19) podem ser considerados como adequados (21-150 ppm Zn) conforme BARBOSA F<sup>o</sup> e FAGERIA (1980).

4.1.3. Extração e exportação de nutrientes: em função dos dados de produção de matéria seca e das concentrações de nutrientes nas diversas partes da planta de duas cultivares de arroz (Tabela 7), determinou-se a quantidade de nutrientes "extraída" (quantidade total do elemento acumulado na planta inteira) e "exportada" (correspondente à fração do total contido nos grãos e cascas), para uma produção estimada de 1000 kg de grãos em casca, conforme se observa na Ta

TABELA 8. Exportações e importações de nutrientes por diferentes partes do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, sob condições de seleção nutritiva, para a produção estimada de 1000 kg de grãos em casca. (Média de 4 repetições).

Cultivar e parte da planta	Nutrientes extraídos											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/1000kg grãos											
<b>IAC 47</b>												
Raízes	2.919,09a	650,24ab	2.298,65a	797,16a	353,43a	644,51a	2,52a	271,14a	2,75b	495,07d	4,13a	6,19ab
Colmos	18.391,01c	3.586,98c	48.046,98c	4.786,16b	5.364,43c	2.599,36c	12,51c	1.768,28c	9,40d	382,76c	121,70c	35,07c
Folhas	11.646,11b	1.174,19b	10.911,76b	8.567,27c	4.862,71c	1.355,03b	16,73d	723,81b	5,04c	184,96b	156,54d	12,83b
Raquis	1.289,94a	167,32a	1.304,38a	686,91a	605,78a	208,34a	2,06a	194,36a	0,69a	11,92a	19,25a	4,35a
Grãos	21.959,66d	4.232,64c	3.730,46a	974,79a	1.876,46b	1.555,55b	9,17b	1.763,24c	8,48d	51,30a	46,99b	40,80c
Extração	56.205,82	9.811,58	66.292,23	15.812,51	13.062,80	6.364,66	43,55	4.721,06	26,59	1.132,25	348,38	99,47
<b>IAC 435</b>												
Raízes	2.566,00a	522,48a	2.100,09a	756,35a	322,29a	551,83ab	1,32a	252,68a	2,26a	423,89c	2,82a	4,89a
Colmos	23.824,83c	4.941,30d	65.276,01c	6.454,75b	6.507,06c	3.874,13d	13,92c	2.238,38c	11,66d	519,28c	112,32c	39,32c
Folhas	12.562,75b	1.142,80b	13.398,68b	10.107,99c	5.800,19c	1.840,07c	16,37c	957,29b	5,08b	232,74b	168,39d	16,74b
Raquis	1.520,04a	253,62a	1.627,66a	761,05a	581,56a	190,22a	1,69a	214,49a	0,94a	17,87a	23,14a	4,14a
Grãos	21.542,80c	4.218,44c	4.045,16a	673,38a	1.622,20b	1.474,69bc	6,40b	1.399,25b	7,53c	50,24a	37,63b	39,32c
Extração	62.015,24	11.078,83	86.447,60	18.753,53	14.833,30	7.931,14	39,89	5.062,09	27,47	1.243,84	344,31	104,42
<b>F</b>												
IAC47	134,26**	112,66**	263,06**	150,89**	176,83**	47,59**	141,98**	78,22**	175,68**	88,96**	105,53**	122,96**
IAC435	134,28**	342,91**	561,79**	82,71**	174,65**	43,08**	117,36**	45,39**	120,05**	67,15**	109,42**	96,53**
<b>CV(%)</b>												
IAC47	14,04	17,55	18,42	17,90	13,60	20,90	12,24	18,60	10,39	19,47	18,18	15,36
IAC435	14,41	10,71	13,30	25,41	15,10	27,72	16,07	24,84	14,25	21,76	19,23	17,09
<b>DMS(Tukey)5%</b>												
IAC47	3.448,77	752,46	5.337,15	1.236,99	776,07	581,25	2,29	383,91	1,15	96,26	27,73	6,65
IAC435	3.905,17	518,53	5.023,33	2.082,03	978,03	960,87	2,82	549,39	1,69	118,34	28,97	7,71

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.  
As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

bela 8.

Pela Tabela 8 observa-se que a extração de nutrientes para ambas as cultivares em ordem decrescente foi:  $K > N \gg Ca > Mg > P > S > Cl \gg Fe \gg Mn > Zn > B > Cu$  com a cv. IAC 435 extraíndo, proporcionalmente maiores quantidades de nutrientes. Esta extração diferencial, influenciada por efeiuto varietal na produção de matéria seca, foi muito marcante nos colmos, no que e concorde com resultados obtidos por FURLANI *et alii* (1977). Na Tabela 8 verifica-se que as quantidades extraídas de potássio e nitrogênio foram bem maiores que as demais. A sequência decrescente de extração de nutrientes, de forma geral, mostra-se concorde com os resultados encontrados por TAKAHASHI (1960), GARGANTINI e BLANCO (1965), GEUS (1973), FURLANI *et alii* (1977), IAPAR (1980) e AGRICULTURA DE LAS AMÉRICAS (1981).

Mediante a utilização de teste de Tukey a 5%, aplicado aos dados contidos na Tabela 8; pode-se constatar que o nitrogênio e o fósforo se concentram principalmente nos grãos (IAC 47 e IAC 435) e colmos (IAC 435); o potássio e enxofre nos colmos; o magnésio, nos colmos e folhas. Entre os micronutrientes, o boro acha-se em maior proporção nas folhas (IAC 47 e IAC 435) e colmos (IAC 435); o cloro e cobre nos colmos (IAC 47 e IAC 435) e grãos (IAC 47); o ferro, nas raíz

zes (IAC 47 e IAC 435) e colmos (IAC 435); o manganês, nas folhas; o zinco, nos grãos e colmos.

Quanto à exportação de nutrientes pode-se, através dos resultados constantes na Tabela 8, estabelecer a seguinte ordem decrescente para ambas as cultivares:  $N \gg P > K > Mg > S \approx Cl > Ca > Fe > Mn \approx Zn > Cu \approx B$ . Verifica-se que as quantidades extraídas de nitrogênio foram bem superiores as demais. Os resultados obtidos, em especial com os macronutrientes, são concordes aos de TAKAHASHI (1960), GARGANTINI e BLANCO (1965), MEDEIROS e MALAVOLTA (1980a) e SINGH e SINGH (1980).

Apenas com o fito de possibilitar melhor visualização dos dados contidos na Tabela 8, procurou-se determinar a distribuição porcentual de nutrientes nas diferentes partes da planta para ambas as cultivares (Figura 1).

#### 4.2. Distúrbios nutricionais causados por deficiência de N, P, K, S e Zn em plantas de arroz.

A deficiência de qualquer um dos elementos ditos essenciais conduz a distúrbios nutricionais, que se manifestam no desenvolvimento de sintomas visíveis, tais como, crescimento atrofiado, amarelecimento ou encurvamento das folhas, ou outras anormalidades.

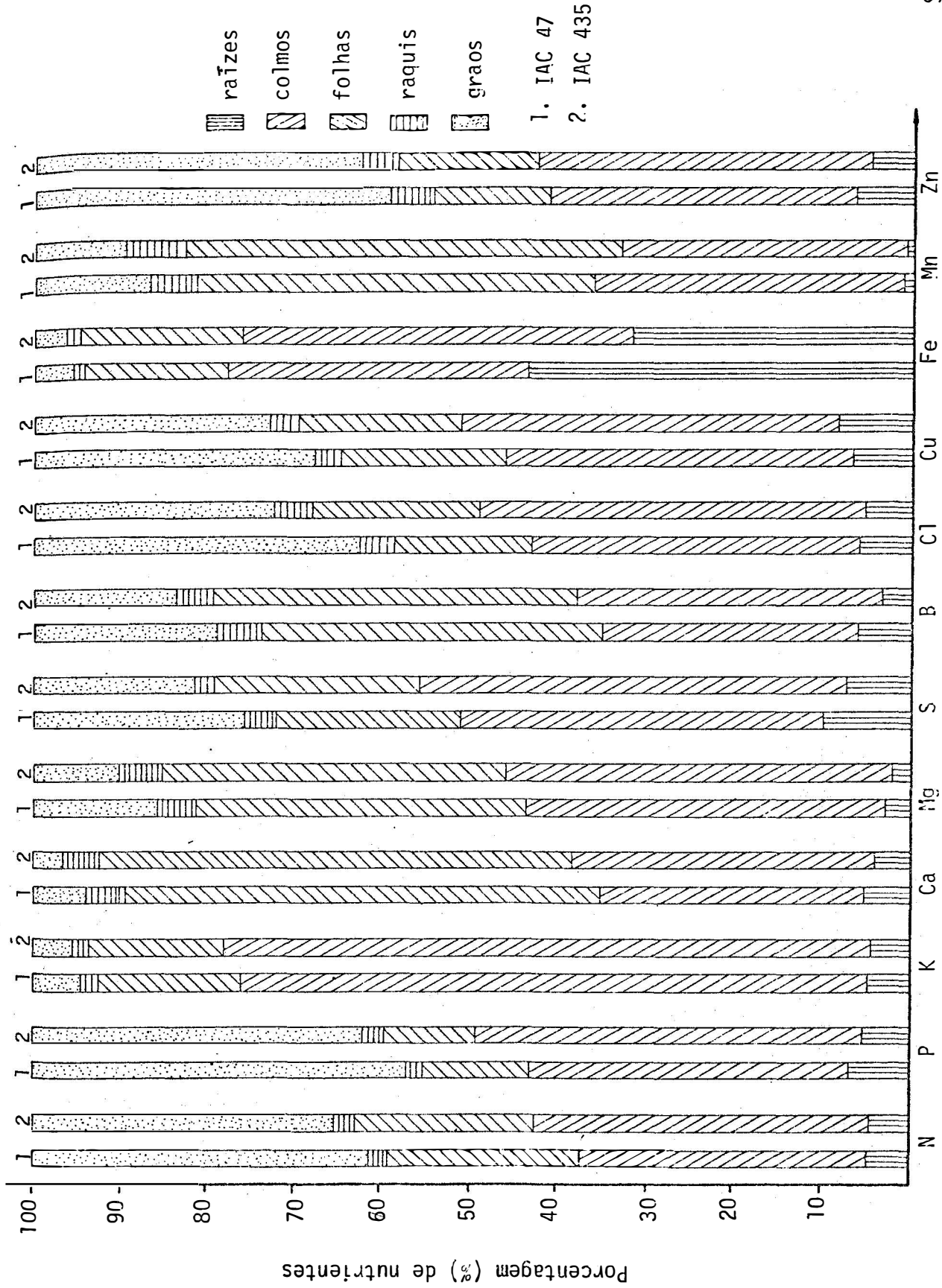


FIGURA 1. Distribuição percentual dos nutrientes contidos nas diferentes partes do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

4.3.1. Nitrogênio (N): a Tabela 9 mostra o efeito do teor foliar de nitrogênio nas quantidades de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos da planta de arroz. A associação destes dados com observações visuais permitiu constatar a consequência de perturbações metabólicas causadas pela deficiência de nitrogênio. O quadro sintomatológico da deficiência seguiu a regra, exteriorizando-se através de clorose foliar, redução na quantidade de matéria seca produzida, na altura e no número de perfilhos e de panículas viáveis. Concentrações foliares de nitrogênio  $\leq 3,58\%$  e  $\leq 2,19\%$  N, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435, desenvolvendo-se em solução nutritiva com 52 ppm N ocasionaram redução no tamanho das folhas, as quais se tornaram rígidas, eretas e progressivamente amareladas de baixo para cima e, posteriormente tais folhas começaram a morrer da ponta para a base. A redução na produção de matéria seca nas diversas partes da planta, na altura, no número de perfilhos e de panículas e na razão "parte aérea/raiz" também foram comprovadas por FUJIWARA (1964), PEREIRA e CORDERO VASQUEZ (1964), MURATA e MATSUSHIMA (1978), MATSUSHIMA (1980) e METCALFE e ELKINS (1980). Com respeito ao peso de 100 sementes, observa-se comportamento distinto entre ambas as cultivares, com a IAC 47 mostrando redução no peso com o aumento no teor foliar de nitrogênio; provavelmente, de acordo com Yamada e Ota (1957) em MURAYAMA (1964), por estar a adubação nitrogenada causando um



TABELA 9. Efeitos da adição de nitrogênio na produção de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. (Média de 4 repetições).

Cultivar e doses (ppm N)	Produção de matéria seca						Caracteres fenológicos				
	Raiz	Colmos	Folhas	Raquis	Graos casca	Total	Altura (cm)	Nº perfi lhos ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Nº paní culãs ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Relação p.aérea/raiz	Peso 100 sementes (g)
IAC 47											
13	1,39a	4,12a	2,66a	0,60a	3,70a	12,47a	61,75a	1,99a	1,99a	8,08a	3,20a
26	2,75b	10,00b	5,13b	1,43b	6,32a	25,63b	68,00a	2,39b	2,23a	8,36a	3,16a
52	3,64bc	16,04c	8,49c	2,11bc	13,60b	43,87c	75,50b	3,08c	3,00b	11,13b	3,07b
104	4,19c	24,02d	14,01d	2,94d	26,60c	71,76d	77,25b	3,94d	3,70c	16,17c	2,99c
208	3,94c	25,65d	15,24d	2,63cd	26,93c	74,39d	81,75b	3,80d	3,63c	18,04c	2,93c
IAC 435											
13	3,84a	8,86a	3,95a	0,70a	7,39a	24,74a	95,50a	2,12a	2,06a	5,67a	2,53a
26	5,78a	16,78b	7,68b	1,29a	16,01b	47,64b	98,50ab	2,73b	2,73b	7,25a	2,61b
52	9,46b	27,31c	13,25c	2,25b	23,95c	76,22c	105,00bc	3,28c	3,24c	7,13a	2,72c
104	12,58c	49,50d	23,96d	3,70c	45,10d	134,82d	113,75cd	3,99d	3,93d	9,81b	2,77c
208	16,63d	67,75e	38,17e	5,70d	50,95e	179,21e	120,00d	4,94e	4,55e	9,89b	2,72c
F IAC 47	29,32**	74,43**	198,46**	25,77**	63,44**	104,63**	25,70**	151,39**	77,91**	62,01**	38,33**
IAC 435	65,24**	253,95**	265,47**	152,91**	304,87**	462,90**	22,55**	207,25**	148,27**	12,32**	29,65**
CV (%)											
IAC 47	13,26	13,28	8,52	19,28	17,84	11,76	4,30	4,54	6,11	9,34	1,20
IAC 435	13,20	8,94	9,77	11,92	7,48	6,39	4,06	4,47	4,87	13,22	1,37
DMS (Tukey) 5%											
IAC 47	0,92	4,63	1,69	0,82	6,02	11,72	6,85	0,30	0,39	2,52	0,08
IAC 435	2,79	6,65	3,71	0,71	4,69	12,92	9,45	0,33	0,35	2,30	0,08

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

aumento no número de panículas e de espiguetas por panícula e na produção de carboidratos pós-florescimento. No caso da IAC 47, a taxa de aumento no número de panículas e de espiguetas seria maior que a produção de carboidratos e, embora a produção de grãos seja maior, o peso de 100 sementes sofreu decréscimo devido ao insuficiente fornecimento de carboidratos. Para a IAC 435, o fornecimento de carboidratos seria adequado.

4.2.2. Fósforo (P): a associação dos dados constantes na Tabela 10 com observações visuais permitiu constatar a consequência de perturbações metabólicas causadas pela deficiência de fósforo. Em plantas desenvolvendo-se em solução nutritiva com 4 ppm P observou-se nas folhas inferiores o aparecimento de uma coloração verde escura e, com a evolução da deficiência, as pontas das folhas tornavam-se amarelo-alaranjadas, depois amarelo-claras e finalmente morriam. Nas folhas mais novas a deficiência ocasionou redução no seu comprimento. Os sintomas foliares da deficiência progrediam do ápice das folhas para a base e das folhas inferiores para as superiores. Tais sintomas são extremamente semelhantes aos observados por MURAYAMA (1964), FAGERIA e BARBOSA FQ (1980) e MATSUSHIMA (1980). A deficiência de fósforo também se exteriorizou através da redução na produção de matéria seca nas diferentes partes da planta, em virtude de

TABELA 10. Efeitos da adição de fósforo na produção de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. (Médias de 4 repetições).

Cultivar e doses (ppm P)	Produção de matéria seca					Caracteres fenológicos					
	Raiz	Colmos	Folhas	Ráquis	Grãos casca	Total	Altura (cm)	Nº. perfi- ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Nº pan. ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Relação parte aérea/raiz	Peso 100 semes (g)
<b>IAC 47</b>											
2	5,20a	11,91a	4,36a	0,18a	10,16a	31,83a	96,50a	2,18a	2,12a	5,15a	3,01
4	8,57ab	26,65b	8,55b	0,87ab	17,60b	62,24b	100,50ab	2,96b	2,74b	6,33ab	3,09
8	10,01b	34,61bc	11,49c	0,98b	21,79c	78,88c	107,00b	3,35c	3,12c	6,97bcd	3,03
16	9,83b	38,95c	12,48c	1,17b	31,78d	94,21d	106,25b	3,71d	3,35cd	9,02cd	3,00
32	10,93b	39,30c	12,07c	1,06b	34,18d	97,55d	108,00b	3,90d	3,46d	8,04d	2,93
<b>IAC 435</b>											
2	6,16a	16,97a	5,94a	0,70a	11,28a	41,05a	113,75a	2,18a	2,06a	5,74a	2,69a
4	9,10b	31,61b	11,72b	1,37ab	22,67b	76,52b	112,50a	3,23b	3,19b	7,48b	2,56b
8	11,01bc	45,98c	15,41bc	2,23bc	30,63c	105,27c	116,25a	3,71c	3,43b	8,69cd	2,53bc
16	11,98cd	51,02cd	19,45cd	3,13cd	37,10d	122,68d	98,75b	3,87cd	3,31b	9,24d	2,47c
32	13,55d	53,33d	18,38d	3,57d	32,05c	120,88d	97,50b	4,06d	3,35b	7,86bc	2,47c
F	5,83**	33,21**	57,05**	5,32**	207,85**	64,21**	5,72**	74,43**	79,80**	7,75**	2,48 <sup>n.s.</sup>
IAC 435	34,88**	143,65**	41,06**	17,11**	354,31**	286,16**	23,05**	119,23**	43,54**	24,40**	26,18**
<b>CV(%)</b>											
IAC 47	20,81	13,14	9,21	40,01	5,99	9,21	3,99	4,93	4,12	15,14	2,42
IAC 435	9,31	6,41	12,10	26,16	4,00	4,37	3,44	4,05	5,64	6,98	1,37
<b>DMS (Tukey) (5%)</b>											
IAC 47	4,05	8,69	1,97	0,74	3,02	14,68	9,04	0,35	0,27	2,35	0,08
IAC 435	2,11	5,57	3,75	1,26	2,34	8,90	8,10	0,30	0,38	1,19	0,08

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

n.s. Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ocasionar redução no número de perfilhos, no número de panículas e redução na altura (caso da cv. IAC 47). Ocorreu ainda um retardamento no florescimento e na maturação e menor razão "parte aérea/raiz" eventos também constatados por outros pesquisadores (PEREIRA e CORDERO VAZQUEZ, 1964; FAGERIA, 1976b; FAGERIA e WILCOX, 1977; MATSUSHIMA, 1980). Com respeito ao peso de 100 sementes não se constatou na cv. IAC 47 efeito do fósforo, no que foi concorde com dados obtidos por PONNAMPERUMA (1964); entretanto, na IAC 435, o acréscimo no teor foliar de fósforo ocasionou redução no peso das sementes.

4.2.3. Potássio (K): a deficiência de potássio se manifestou nas folhas e colmos de plantas com teores foliares  $\leq 0,11\%$  de K, correspondente a 14 ppm K nas soluções nutritivas, através do surgimento de manchas vermelho-acastanhadas nas folhas inferiores, bainhas e colmos; a seguir, as pontas e margens das folhas inferiores tornaram-se cloróticas e posteriormente morreram, com as folhas se enrolando para cima. As folhas superiores mostraram lâminas estreitas e curtas, de coloração verde-azulada com manchas vermelho-acastanhadas, eretas e que se enrolavam para baixo nas horas mais quentes. As plantas deficientes mostraram ainda florescimento e maturação precoce. A observação dos dados constantes na Tabela II, permitiu ainda constatar que a deficiência deste nutriente levou à redução na produção de matéria seca nas

TABELA 11. Efeitos da adição de potássio na produção de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. (Média de 4 repetições).

Cultivar e doses (ppm K)	Produção de matéria seca					Caracteres fenológicos			Peso 100 se mentes. (g)	
	Raiz	Colmos	Folhas	Raquis	Graos casca	Total	Altura (cm)	Nº perflihos ( $\sqrt{x+0,5}$ )		Nº panículas ( $\sqrt{x+0,5}$ )
IAC 47										
14	7,24a	14,99a	10,84ab	1,09ab	14,48a	48,64a	71,50a	3,67ab	3,19	2,47a
28	10,68b	23,92b	10,50a	1,27ab	18,87ab	65,25b	87,25b	3,56a	3,16	2,66b
56	12,00b	31,93c	11,52ab	0,90a	20,75bc	76,51c	92,50b	3,69ab	3,42	2,75bc
112	12,67b	37,52cd	10,79ab	1,49ab	24,65c	87,13d	90,00b	3,84ab	3,42	2,80c
224	13,11b	41,64d	12,39b	1,92b	23,83bc	92,89d	91,25b	4,15b	3,46	2,75bc
IAC 435										
14	8,64a	27,77a	18,23	2,44a	10,05a	67,14a	65,25a	3,43a	2,91a	2,37a
28	12,27b	42,41b	18,22	2,52a	12,00ab	87,43b	80,00b	3,77bc	3,35b	2,43ab
56	14,32c	54,37c	17,82	2,82ab	14,07b	103,40c	95,00c	3,53ab	3,46bc	2,51bc
112	14,54c	63,00d	19,23	3,79b	16,64c	117,21d	97,50c	4,09cd	3,71cd	2,52c
224	14,84c	68,15e	19,10	3,36ab	21,60d	127,06e	99,50c	4,15d	3,94d	2,58c
F	12,91**	67,96**	3,44*	3,38**	11,15**	83,25**	9,43**	3,46**	1,35 <sup>ns</sup>	18,36**
IAC 435	46,17**	280,06**	2,74 <sup>ns</sup>	6,57	68,29**	257,14	41,10	17,07	28,15**	17,04**
CV(%)										
IAC 47	11,82	8,65	7,28	32,16	11,97	5,24	6,48	6,47	7,45	2,31
IAC 435	5,91	3,81	4,01	15,08	7,30	2,96	5,20	4,14	4,20	1,61
DMS (Tukey) 5%										
IAC 47	2,88	5,67	1,78	0,94	5,37	8,48	12,25	0,53	--	0,14
IAC 435	1,67	4,26	--	0,98	2,37	6,50	9,94	0,34	0,32	0,09

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

n.s. Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

diversas partes da planta, bem como ocasionar redução na altura das plantas, no perfilhamento, no número de panículas viáveis e no peso de 100 sementes. Tal quadro sintomatológico da deficiência e, pois, semelhante ao constatado por FUJIWARA (1964), IRRI (1968a), TANAKA e YOSHIDA (1970), FAGERIA (1976b) e MATSUSHIMA (1980).

4.2.4. Enxofre (S): não foram constatados sintomas foliares da deficiência de enxofre, pois mesmo com plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com 4 ppm S, os teores foliares deste nutriente se encontravam em níveis considerados como adequados por FAGERIA (1976a). Entretanto, a observação dos dados contidos na Tabela 12, permitiu constatar que a utilização de 4 ppm de enxofre, relativamente aos demais tratamentos, ocasionou, de forma geral, redução na produção de matéria seca nas diversas partes da planta, bem como na altura, no número de perfilhos, e de panículas e no peso de 100 sementes. Os resultados obtidos mostraram, pois, que doses de enxofre superiores a 4 ppm, provocaram mudanças significativas em ambas as cultivares, especialmente na IAC 47, onde ocasionou aumentos na produção dos grãos. Estes resultados discordam em parte com os de Tokunaga (1960) citado por TAKAHASHI (1964) e os de RAO *et alii* (1980), para os quais 1,7 ppm S na solução nutritiva possibilita bom crescimento do arroz e acréscimos adicionais de en

TABELA 12. Efeitos da adição de enxofre na produção de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. (Média de 4 repetições).

Cultivar e doses (ppm S)	Produção de matéria seca					Caracteres fenológicos			
	Raiz	Colmos	Fólias	Raquis	Graos casca	Total	Altura lhos.	Nº paní cula.	Peso 100 se mentes.
	g/planta					(cm)	( $\sqrt{x+0,5}$ )	( $\sqrt{x+0,5}$ )	(g)
<b>IAC 47</b>									
4	5,64	26,44a	14,34a	3,55	34,75a	84,72a	102,50	3,19a	3,11a
8	5,86	30,46ab	15,80ab	3,48	37,60ab	93,11ab	98,75	3,43ab	3,12a
16	6,35	31,85ab	16,84abc	3,97	38,87b	97,89b	97,50	3,43ab	3,14ab
32	6,17	34,45b	18,03bc	4,05	39,15b	101,85b	100,00	3,70ab	3,21b
64	7,04	33,39b	18,75c	3,84	39,26b	102,78b	100,00	3,80b	3,20b
<b>IAC 435</b>									
4	7,52ab	48,48a	21,13a	3,31a	35,66	116,04a	118,75a	3,28a	2,60a
8	7,34ab	55,27ab	26,00b	2,63a	36,29	127,55b	108,75b	3,32a	2,52b
16	6,96a	61,51b	29,39bc	3,24a	37,32	138,42c	110,00b	3,77b	2,52b
32	9,99c	76,96c	30,70c	4,35b	38,29	160,29d	111,25b	4,06c	2,51b
64	8,94bc	77,20c	30,11c	4,41b	37,72	158,39d	111,25b	4,00c	2,53b
F	2,05 <sup>ns</sup>	3,93 <sup>*</sup>	7,35 <sup>**</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	5,02 <sup>**</sup>	8,16 <sup>**</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	3,99 <sup>*</sup>	8,70 <sup>**</sup>
IAC 435	10,08 <sup>**</sup>	59,78 <sup>**</sup>	21,83 <sup>**</sup>	11,63 <sup>**</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	65,96 <sup>**</sup>	7,35 <sup>**</sup>	63,91 <sup>**</sup>	15,96 <sup>**</sup>
CV (%)									
IAC 47	12,12	10,30	7,81	10,60	4,46	5,40	4,62	7,00	10,00
IAC 435	9,85	5,22	6,20	12,23	5,46	3,38	2,58	2,52	7,60
DMS (Tukey) 5%									
IAC 47	-	7,07	2,86	-	3,69	11,33	-	0,54	0,09
IAC 435	1,75	7,29	3,72	0,97	-	10,36	6,31	0,20	0,07

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

n.s. Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

xofre nao aumentariam a produçãõ de graos.

4.2.5. Zinco (Zn): a Tabela 13 mostra o efeito do teor foliar de zinco na produçãõ de matãria seca das diversas partes da planta de arroz e em alguns caracteres fenolõgicos. A associaçãõ destes resultados com aqueles de observações visuais permitiu constatar a consequênciã de perturbações metabõlicas ocasionadas pela deficiênciã de zinco. Os sintomas de deficiênciã foram, inicialmente, observados em plantas em inãcio de perfilhamento, submetidas a doses de zinco  $\leq 2,5 \cdot 10^{-2}$  ppm, atravêõ de uma coloraçãõ verde-esbranquiçada em ambos os lados da nervura na base das folhas jovens e, no final do perfilhamento, esta regiãõ clorõtica adquiriu coloraçãõ ferruginosa, ao passo que nas folhas em desenvolvimento, iniciava-se a clorose internerval. Com o desenvolver da deficiênciã observou-se reduçãõ no tamanho da lâmina foliar, enrolamento e o secamento das folhas inferiores. As plantas afetadas mostraram retardamento no florescimento e na maturaçãõ; porte atrofiado; abundante perfilhamento, muitos deles nao desenvolvendo panãculas; reduçãõ no numero de panãculas viãveis; reduçãõ no peso de 100 sementes e deformaçãõ dos grãos.

Os sintomas descritos seguiram pois, o padrãõ de deficiênciã descrito anteriormente por diversos pes



TABELA 13. Efeitos da adição de zinco na produção de matéria seca e em alguns caracteres fenológicos do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. (Média de 4 repetições).

Cultivar e doses (ppm Zn)	Produção de matéria seca					Caracteres fenológicos			
	Raiz	Colmos	Folhas	Raquis	Graos casca	Altura (cm)	Nº perfli. lhcs. ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Nº panícula. ( $\sqrt{x+0,5}$ )	Peso 100 sementes. (g)
IAC 47									
6,3.10 <sup>-3</sup>	2,45a	16,81a	8,97a	1,40a	5,79a	71,25a	3,10a	2,54a	2,45a
1,25.10 <sup>-2</sup>	3,96a	23,54a	11,77ab	1,82ab	7,80a	72,50a	3,65ab	3,10ab	2,51a
2,50.10 <sup>-2</sup>	4,55bc	38,70b	15,19b	2,41abc	22,61b	87,50b	3,71ab	3,64bc	2,92b
5,00.10 <sup>-2</sup>	6,45c	54,28bc	19,69c	2,91bc	38,93c	93,00b	3,83b	3,83c	3,27c
.10 <sup>-1</sup>	8,23c	46,74c	19,63c	3,66c	43,63c	91,75b	3,80ab	3,80c	3,24c
IAC 435									
6,30.10 <sup>-3</sup>	5,96a	34,91a	16,33a	1,53a	7,96a	91,25a	3,63a	2,68a	2,13a
1,25.10 <sup>-2</sup>	8,14ab	55,96a	18,84a	1,94a	21,33b	108,75b	3,81ab	3,64b	2,33b
2,50.10 <sup>-2</sup>	8,84b	51,76a	22,04a	2,33a	34,75c	111,25b	3,90ab	3,84b	2,57c
5,00.10 <sup>-2</sup>	9,84b	84,92b	31,52b	4,40b	48,42d	116,25b	4,03ab	3,94b	2,76d
.10 <sup>-1</sup>	9,83b	87,99b	31,91b	5,77c	53,15d	116,25b	4,15b	3,97b	2,75d
F IAC 47	17,32**	26,29**	24,86**	6,76**	99,25**	19,54**	3,29*	16,66**	107,26**
IAC 435	7,63	16,80	21,09	36,62	114,11	32,90	4,17**	26,50	406,38
CV(%)									
IAC 47	21,05	16,96	12,66	28,14	14,66	5,73	9,09	8,05	2,61
IAC 435	13,62	17,59	13,02	18,76	10,61	3,30	5,04	5,78	1,08
DMS (Tukey) 5%									
IAC 47	2,36	13,34	4,16	1,50	7,61	10,43	0,72	0,59	0,16
IAC 435	2,54	24,25	6,87	1,31	7,68	7,85	0,43	0,46	0,06

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

pesquisadores como KARIM e VLAMIS (1962), TANAKA e YOSHIDA (1970), AGARWALA e SHARMA (1979) e BARBOSA Fº e FAGERIA (1980).

#### 4.3. Determinação dos teores críticos dos nutrientes N, K, P, S e Zn contidos em folhas recém maduras do arroz no estágio de primórdio floral.

4.3.3.1. Nitrogênio: a concentração de nutrientes nas plantas tendem a ocorrer em proporções relativamente específicas, embora fatores genéticos e/ou ambientais (clima, solo, dose de outros nutrientes, etc) possam modificá-la. (MATSUSHIMA, 1976a). Assim muitas vezes se verifica a ocorrência de interações positivas ou negativas entre nutrientes com o fornecimento de doses maiores de um dado nutriente. Esta é a razão pela qual, ao se procurar constatar a existência dos teores críticos de nitrogênio, ou seja, de uma faixa de teores de nitrogênio na folha abaixo da qual seria conveniente a adubação, foram determinados os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre contidos nas folhas recém-maduras do colmo principal de plantas de arroz submetidas a doses crescentes de nitrogênio na solução nutritiva. Os resultados médios inicialmente obtidos encontram-se na Tabela 14, onde mediante a utilização do teste de Tukey a 5%, permitiram constatar que a adição de doses crescentes de nitrogênio ocasionou mudanças significativas nos teores foliares de nitrogênio, fósforo e enxofre de ambas as cultivares.

TABELA 14. Efeitos da adição de nitrogênio sobre a concentração foliar do nitrogênio, fósforo e enxofre do arroz cv. IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral (média de 4 repetições).

Nitrogênio Doses (ppm N)	Teor foliar (%)					
	N		P		S	
	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435
13	2,80a	1,92a	0,26a	0,57c	0,27a	0,23a
26	2,88b	2,08a	0,32b	0,56c	0,30b	0,31b
52	3,58c	2,19a	0,36c	0,53c	0,31bc	0,31b
104	4,01d	2,66b	0,42b	0,43b	0,33cd	0,32b
208	4,40e	3,48c	0,47e	0,33a	0,34d	0,32b
F	361,81**	87,92**	98,93**	30,92**	21,00**	13,72**
C.V. (%)	0,66	5,44	4,44	7,56	3,98	7,01
D.M.S. (Tukey) (5%)	0,05	0,29	0,04	0,08	0,03	0,05

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

• As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si

Com os dados originais, dos quais resultaram a Tabela 14, mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau, foram obtidas as curvas referentes às Figuras 2, 3 e 4. Na Figura 2, onde se relacionou as doses de nitrogênio contidas na solução nutritiva (X) com os teores foliares de nitrogênio (Y), permitiu constatar que 86,30 e 95,64% da variação dos dados, respectivamente nas cultivares IAC 47 e IAC 435, foram explicáveis por equações de regressão polinomial do 1º grau, ou seja, houve um efeito linear entre o nitrogênio fornecido na solução e o nitrogênio contido na planta, fato este também constatado por SIMS e PLACE (1968).

Ao se relacionar teores foliares de nitrogênio com os de fósforo, para ambas as cultivares, as equações de regressão polinomial significativas foram as de 1º grau, com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da ordem de 91,41 e 84,70%, respectivamente, para as cultivares IAC 47 e IAC 435. (Figura 3). Na IAC 47, o efeito linear entre ambos os nutrientes foi altamente positivo ao passo que na IAC 435, o efeito linear foi altamente negativo.

A interação positiva entre N e P observada na

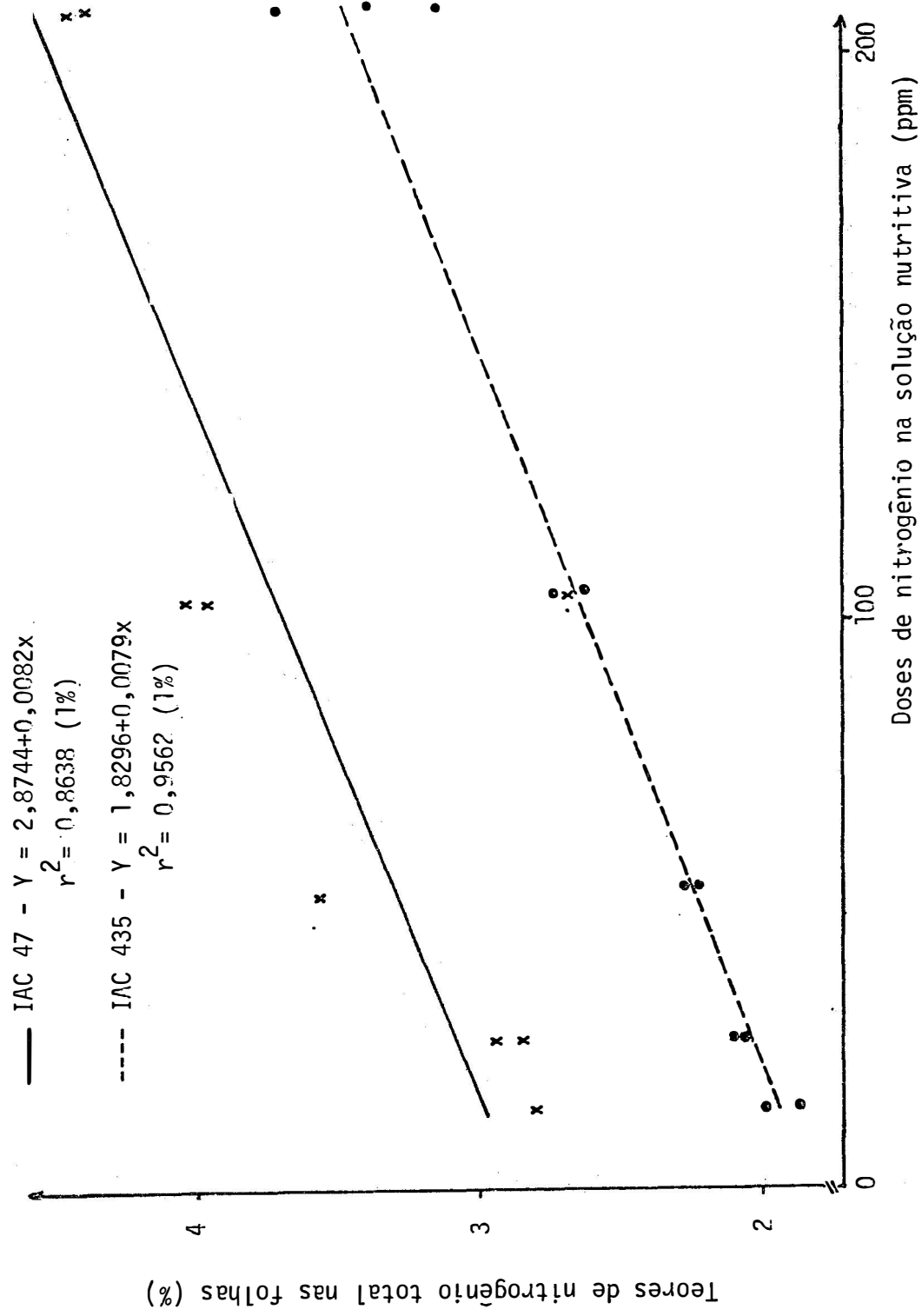


FIGURA 2. Relação entre nitrogênio total contido na solução nutritiva e nas folhas de arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435. ∞

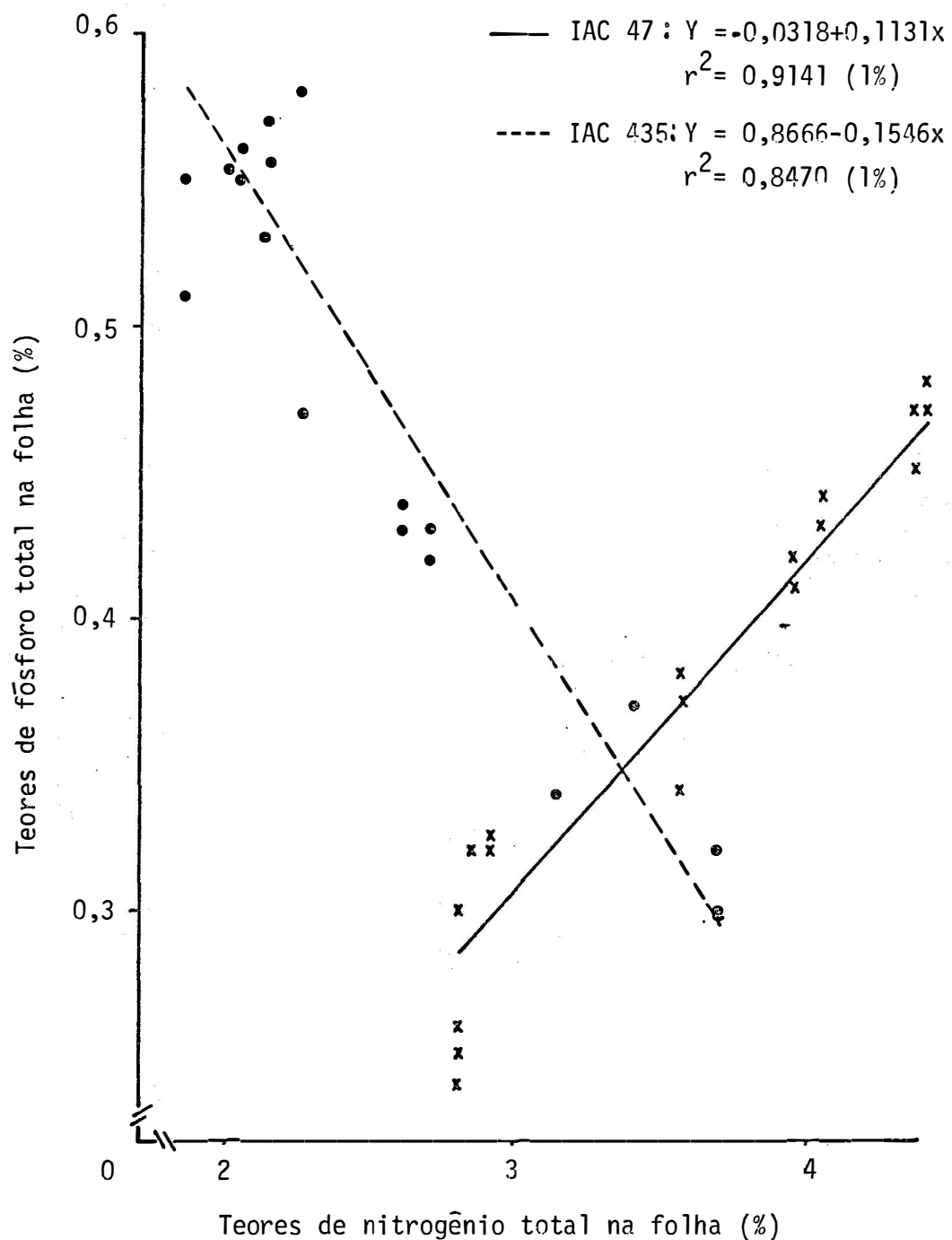


FIGURA 3. Relação entre nitrogênio total e fósforo total, contidos nas folhas do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

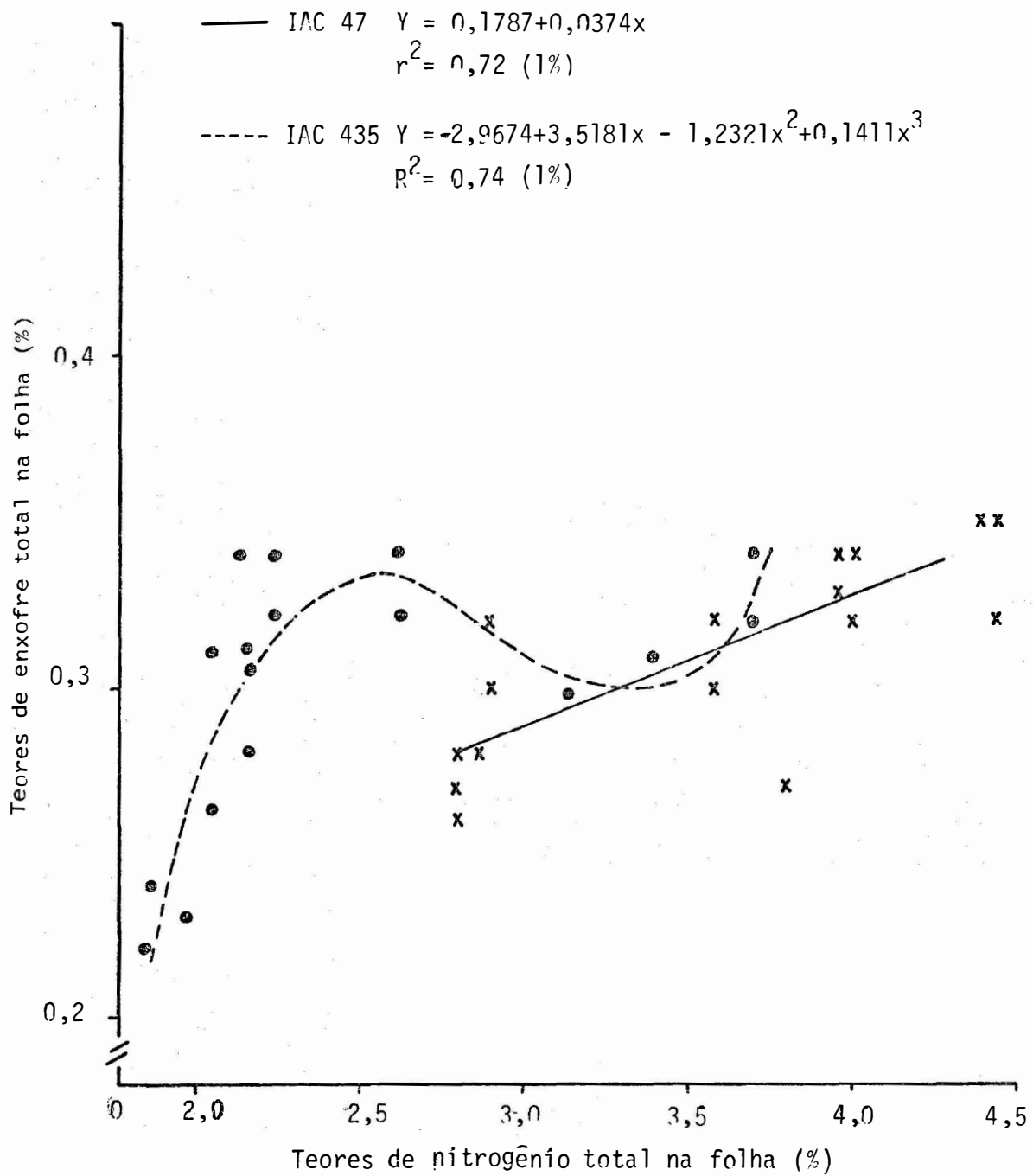


FIGURA 4. Relação entre nitrogênio total e enxofre total contidos em folhas de arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

IAC 47 seria, de acordo com ARNON (1975), consequência da produção de compostos nitrogenados, devido a adição de compostos nitrogenados, muitos dos quais contendo ou exigindo fósforo. Entretanto, o comportamento observado na cv. IAC 435, foi exatamente o oposto. O observado reflete provavelmente comportamento varietal frente à composição química da solução nutritiva utilizada.

A análise do efeito de doses crescentes de nitrogênio total sobre o teor foliar de enxofre, permitiu determinar que as equações de regressão significativas foram as de 1º grau ( $r^2 = 72\%$ ) e de 3º grau ( $R^2 = 74\%$ ), respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 4).

O efeito significativo observado entre ambos os nutrientes, os quais participam ativamente da constituição da proteína vegetal (EPSTEIN, 1975, MALAVOLTA, 1979b) foi também observado entre outros, por WALLIHAN e SHARPLESS (1974) e OSINAME e KANG (1975).

Ao se estudar a relação existente entre os teores de nitrogênio nas folhas com a produção de grãos em casca, constatou-se que as equações de regressão representativas foram as de 2º grau e de 3º grau respectivamente, para IAC 435 e IAC 47 (Figura 5). Ao se relacionar os dados contidos nas Figuras 2 e 5, pode -



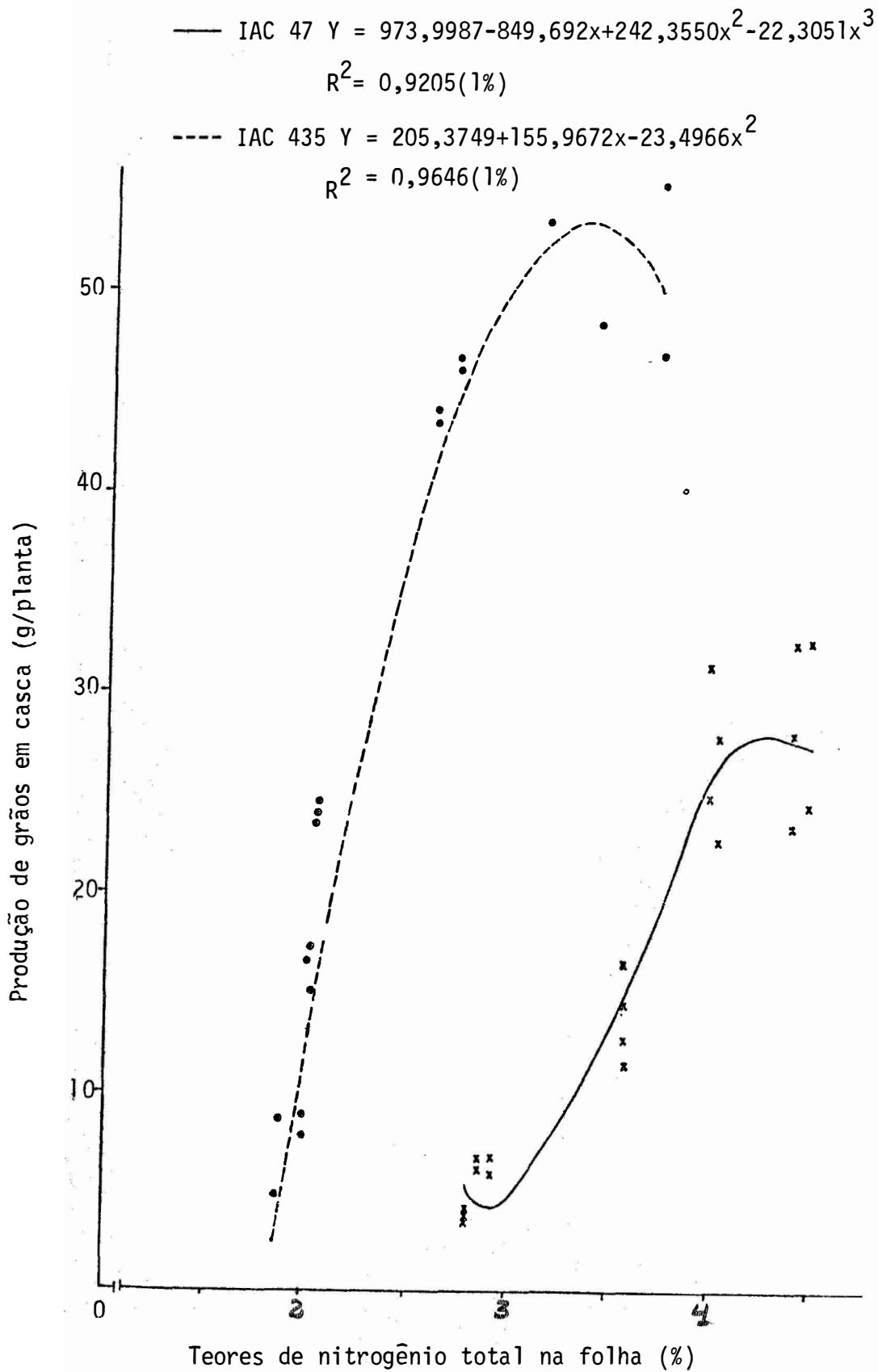


Figura 5. Relação entre a concentração foliar de nitrogênio (%) com a produção de grãos em casca (g/planta) do arroz, cultivares IAC47 e IAC 435.

-se observar que a IAC 47 se mostrou aparentemente mais eficiente na absorção do nitrogênio contido na solução, relativamente a cultivar IAC 435; entretanto esta última se mostrou mais eficiente na produção de grãos (Figura 5), o que permite aventar ser a cultivar IAC 47, eficiente na extração sendo porém não responsável ao nitrogênio, fornecido na solução nutritiva. Ao passo que a IAC 435 poderá ser considerada como responsável.

Baseado nos teores foliares considerados como de deficiência, críticos adequados excessivos de nitrogênio, isoladamente para cada uma das cultivares, foram determinados com o auxílio gráfico e/ou matemático, os teores de P (Figura 3) e de S (Figura 4) correspondentes a tais teores de nitrogênio, através dos quais foram determinadas as relações entre os elementos. Os dados obtidos encontram-se sintetizados na Tabela 15.

A observação dos dados contidos na Tabela 15 permitiu constatar ser os teores deficientes, críticos, adequados e excessivos de nitrogênio e as relações N/P, N/S e P/S diferentes entre as duas cultivares e daqueles levantados através da revisão de literatura (Ítem 2.1.5) o que demonstra ser a concentração de um determinado nutriente o valor da integração dos fatores genéticos e fatores ambien

TABELA 15. Teores deficientes, críticos, adequados e excessivos de nitrogênio e das relações N/P, N/S e P/S nas folhas de arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostras tomadas no estágio de primórdio floral.

Nutriente e relação entre nutrientes	Cultivar	Teores e relações			
		deficientes	críticos	adequados	excessivos
N	IAC 47	< 3,85%	3,85-3,98%	3,98-4,27%	> 4,27%
	IAC 435	< 2,64%	2,64-2,84%	2,84-3,32%	> 3,32%
N/P	IAC 47	> 9,54	9,54-9,51	9,51-9,46	< 9,46
	IAC 435	< 5,76	5,76-6,64	6,64-9,40	> 9,40
N/S	IAC 47	< 12,03	12,03-12,06	12,06-12,56	> 12,56
	IAC 435	< 8,00	8,00-8,87	8,87-11,07	> 11,07
P/S	IAC 47	< 1,26	1,26-1,27	1,27-1,33	> 1,33
	IAC 435	> 1,39	1,39-1,33	1,33-1,18	< 1,18

tais fatos também observados por ULRICH e BERRY (1961) e por BOWEN (1981). Do exposto conclui-se semelhantemente a ISHIZUKA (1969), WARD *et alii* (1973) e WALLIHAN *et alii* (1974), que os teores ou as relações entre nutrientes considerados como adequados a uma dada cultivar, podem ser excessivos ou deficientes para outra (s).

4.3.2. Fósforo: a adição de doses crescentes de fósforo na solução nutritiva ocasionou mudanças significativas nos teores de nitrogênio (exceto na cv. IAC 435) fósforo, enxofre e zinco contidos nas folhas recém maturas do colmo principal de plantas no estágio de primórdio floral (Tabela 16)

Em razão das significâncias encontradas, mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau foram obtidas as curvas, e respectivas equações, referentes às Figuras 6, 7, 8 e 9. Na Figura 6, onde se relacionou as doses crescentes de fósforo contidas na solução nutritiva com os teores foliares de fósforo, permitiu constatar elevados coeficientes de determinação, ou seja, 96,15 e 96,96% da variação dos dados, foram explicáveis pelas equações polinomiais de 1º e 2º graus, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435.

TABELA 16. Efeitos da adição de fósforo sobre a concentração foliar do nitrogênio, fósforo, enxofre e zinco do arroz, cv. IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral. (Média de 4 repetições).

Fósforo doses (ppm P)	Teor foliar									
	N (%)		P (%)		S (%)		Zn (ppm)		IAC 435	
	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435
2	3,39a	3,32	0,10a	0,082a	0,38c	0,39b	37,25c	23,25d		
4	3,37a	3,31	0,12a	0,105a	0,34b	0,31a	32,50c	20,50c		
8	3,50ab	3,29	0,17b	0,142b	0,33b	0,32a	25,50b	19,00c		
16	3,57b	3,35	0,23c	0,235c	0,31ab	0,33a	24,75b	15,00b		
32	3,55b	3,39	0,32d	0,317d	0,29a	0,31a	13,75a	10,75a		
F	6,35 <sup>**</sup>	1,76 <sup>n.s.</sup>	210,44 <sup>**</sup>	136,36 <sup>**</sup>	24,01 <sup>**</sup>	8,92 <sup>**</sup>	37,77 <sup>**</sup>	87,20 <sup>**</sup>		
CV(%)	2,14	1,69	6,80	9,51	4,12	6,89	10,85	5,93		
D.M.S.(Tukey) 5%	0,16	-	0,03	0,037	0,03	0,05	6,34	2,29		

. \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade

. n.s. Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si

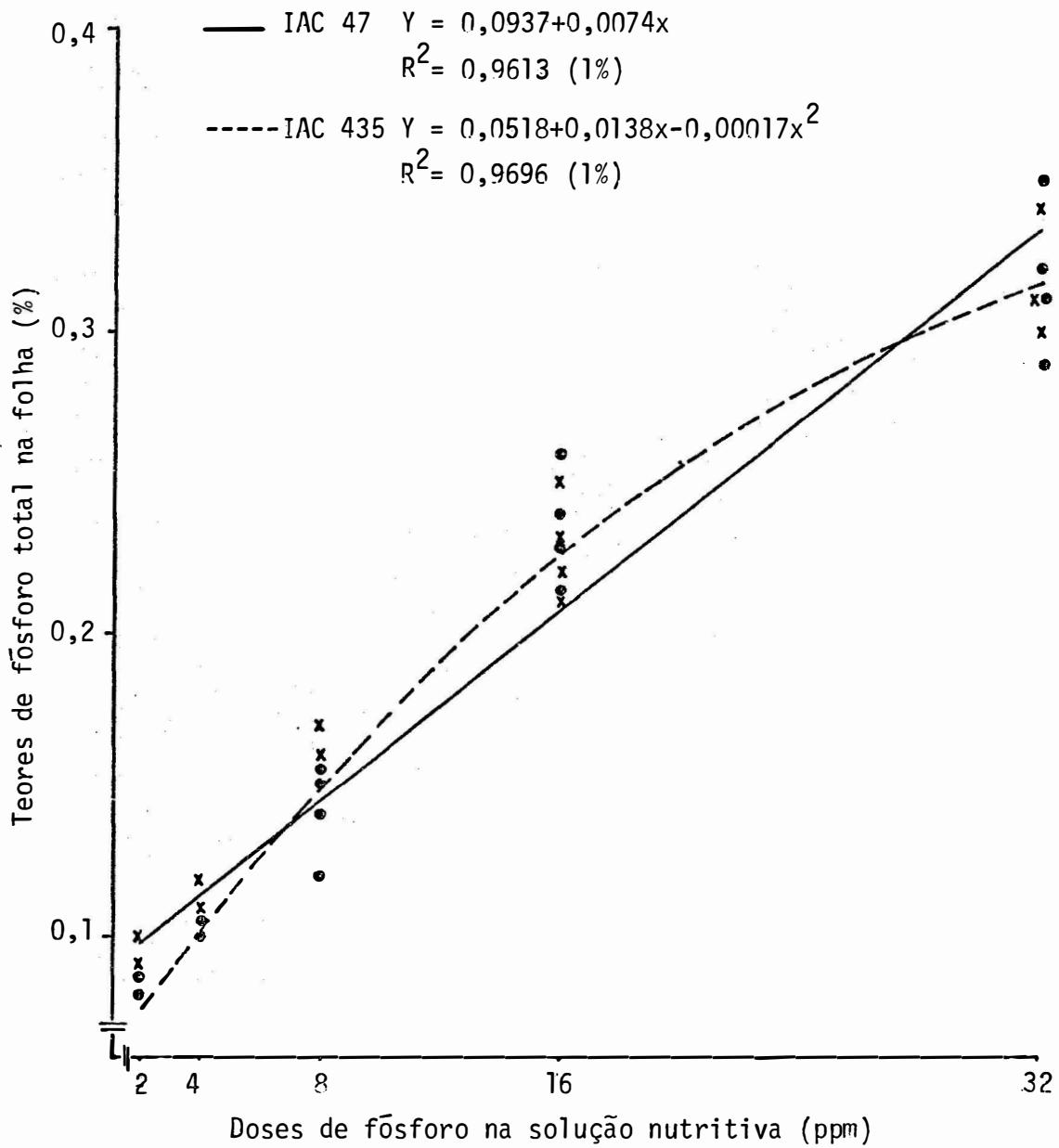


FIGURA 6. Relação entre doses de fósforo total na solução nutritiva e teores na folha do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

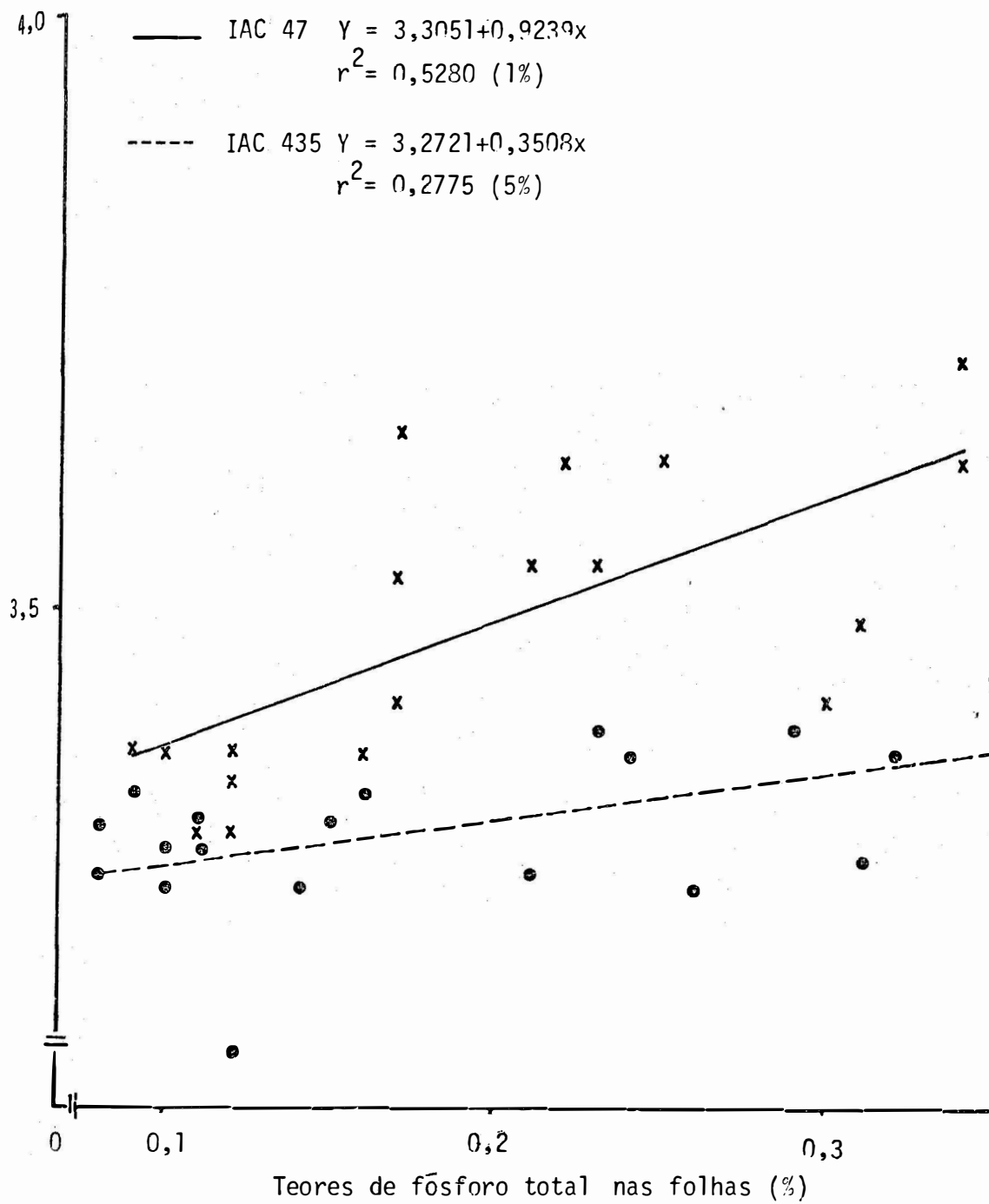


FIGURA 7. Relação entre teores foliares de fósforo e nitrogênio total no arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

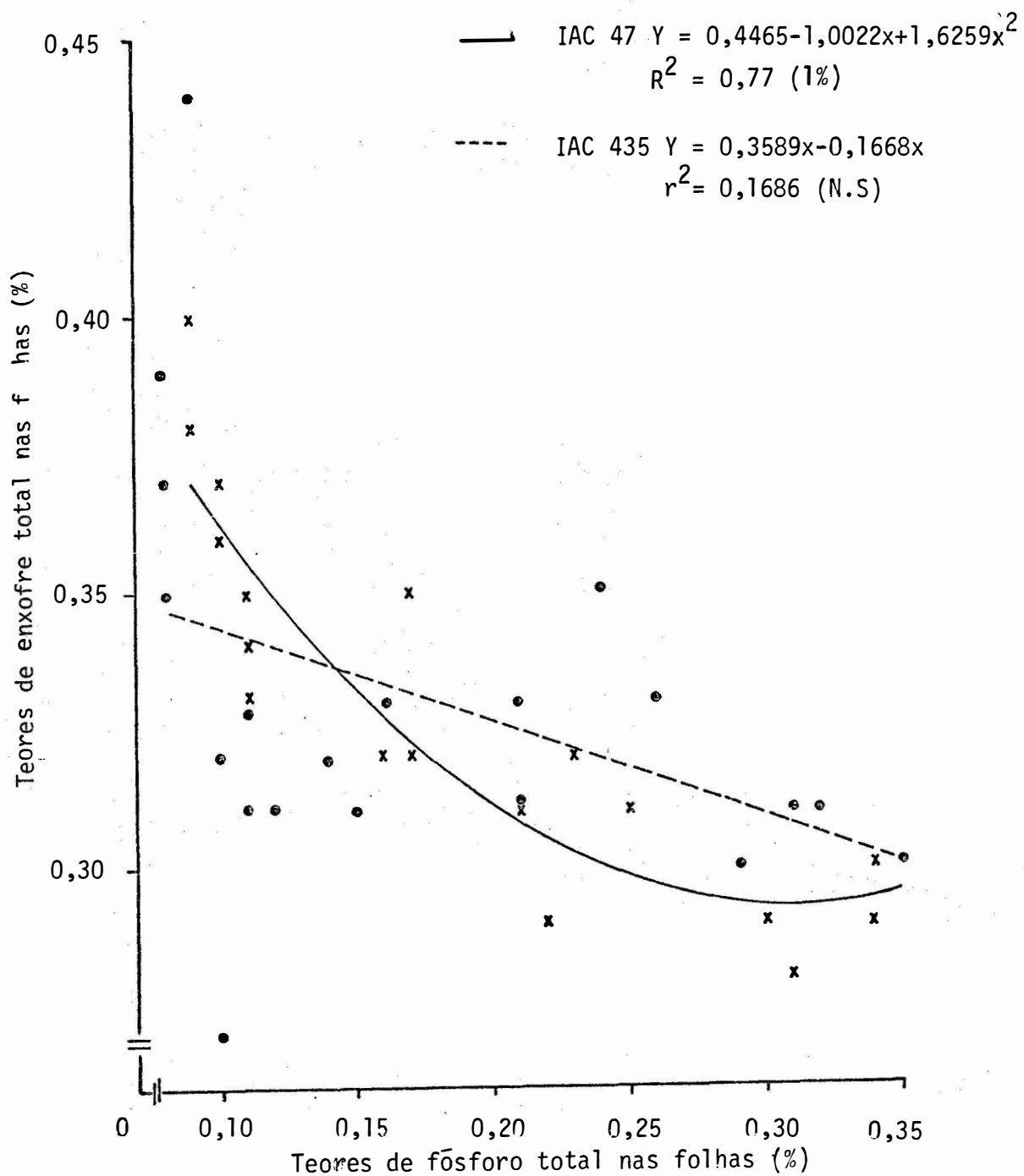


FIGURA 8. Relação entre teores foliares de fósforo e enxofre total em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.



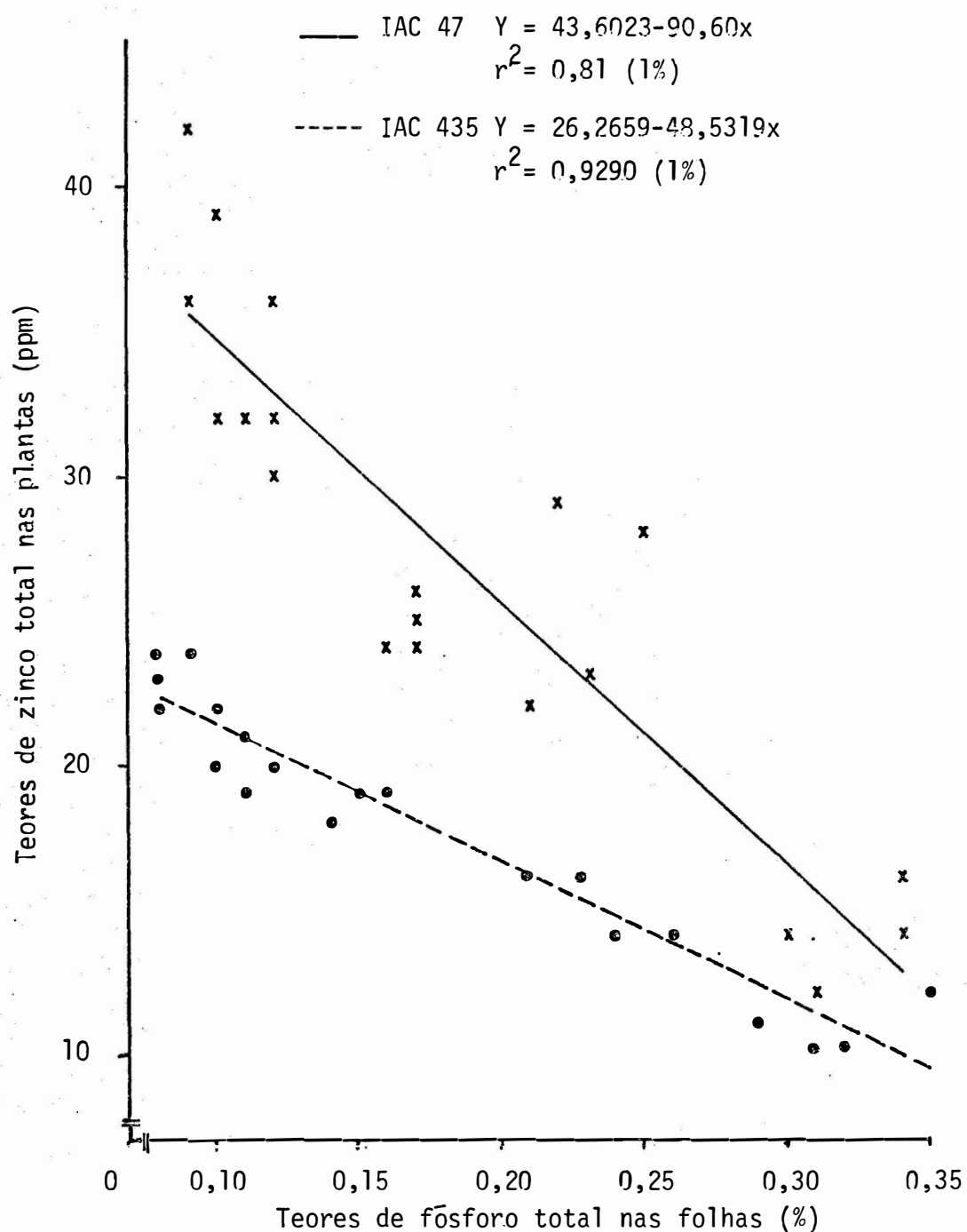


FIGURA 9. Relação entre teores foliares de fósforo total e zinco em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

Ao se analisar os efeitos ocasionados por teores crescentes de fósforo foliar sobre o conteúdo foliar de nitrogênio, foi constatado conforme foi dado observar na Figura 7 que o fósforo estimulou fisiologicamente ambas as cultivares na utilização do nitrogênio, fato este também citado por ARNON (1975).

Com respeito a interação fósforo e enxofre a nível foliar, foi observado que o fósforo apresentou ação depressiva sobre o teor de enxofre. (Figura 8), fato este em desacordo aos resultados obtidos por KUMAR e SINGH (1980), em soja desenvolvendo em solos deficientes nestes dois macronutrientes. Entretanto a ação depressiva do fósforo sobre o teor foliar de enxofre não ocasionou reduções prejudiciais no conteúdo deste nutriente, pois os teores mínimos constatados (0,29% de enxofre total) são considerados como adequados por IRRI (1972a) e por FAGERIA (1976a).

Ao se analisar o efeito de teores crescentes de fósforo sobre o conteúdo de zinco, foi constatado que 81,00 e 92,90% da variação dos dados foram explicáveis por equação de regressão polinomial do 1º grau, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 9), com o fósforo mostrando ação depressiva sobre o teor foliar do zinco, fato este também observado, entre outros, por GIORDANO e MORTVEDT (1972) e por

BAHIA e BRAGA (1974).

Mediante a utilização da análise de regressão polinomial sobre os dados referentes aos teores foliares de fósforo e produção de grãos em casca foram observados elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ), em que 95,21 e 94,62% da variação dos dados foram explicáveis pelas equações de regressão do 2º e do 3º graus, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 10).

Em razão do exposto foram definidas matematicamente e/ou graficamente, os teores foliares de fósforo correspondentes às faixas de deficiência, crítica, adequada e excessiva para ambas as cultivares. Baseado em tais teores foram determinados graficamente e/ou matematicamente os teores de nitrogênio (Figura 7), enxofre (Figura 8) e zinco (Figura 9) correspondentes, o que possibilitou a elaboração dos dados contidos na Tabela 17.

Os dados contidos na Tabela 17 permitiram constatar que teores de fósforo considerado como adequados para IAC 47 foram excessivos para IAC 435; e as relações N/P, P/S, N/S e P/Zn foram também diferentes entre ambas cultivares e daqueles arrolados na revisão de literatura (Ítems 2.1. e 2.2), fatos esses demonstrativos de efeitos genéticos e/ou ambientais sobre o teor de um dado nutriente.

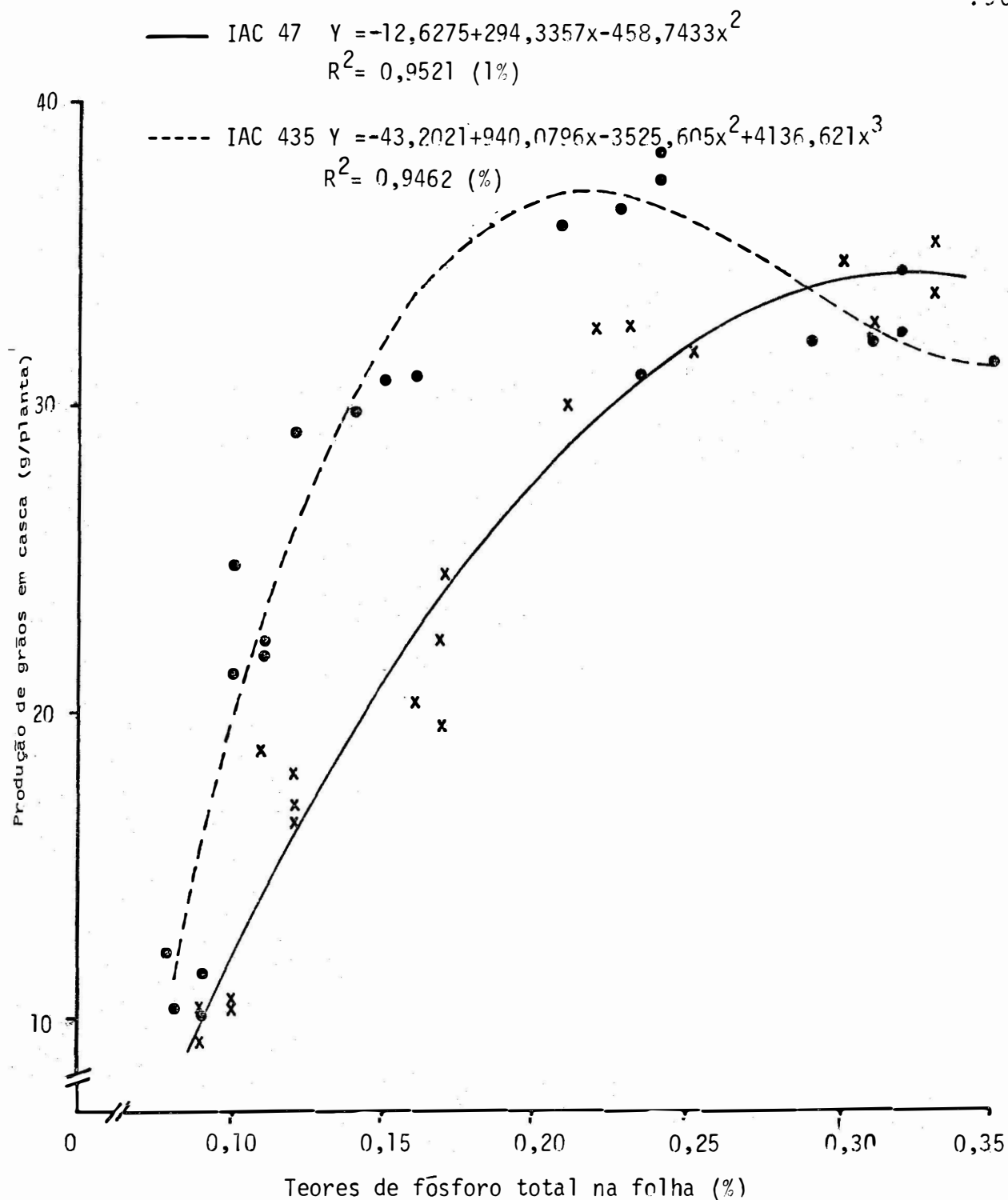


FIGURA 10. Relação entre teores foliares de fósforo total (%) e produção de grãos em casca (g/planta) no arroz cultivares IAC 47 e IAC 435.

TABELA 17. Teores deficientes, críticos, adequados e excessivos de fósforo e das relações N/P, P/S, N/S e P/Zn nas folhas do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostradas no estágio de primórdio floral.

Nutriente e relação entre nutrientes	Cultivar	Teores e relações			
		deficientes	críticos	adequados	excessivos
P	IAC 47	< 0,20%	0,20-0,24%	0,24-0,32%	> 0,32%
	IAC 435	< 0,13	0,13-0,15%	0,15-0,22%	> 0,22
N/P	IAC 47	> 17,45	17,45-15,04	15,04-10,91	< 10,91
	IAC 435	> 24,41	24,41-21,35	21,35-15,65	> 15,65
P/S	IAC 47	< 0,64	0,64-0,78	0,78-1,09	> 1,09
	IAC 435	< 0,40	0,40-0,47	0,47-0,66	> 0,66
N/S	IAC 47	< 11,26	11,26-11,73	11,73-12,41	> 12,41
	IAC 435	< 9,88	9,88-9,99	9,99-10,36	> 10,36
P/Zn	IAC 47	< 78,49	78,49-102,81	102,81-219,03	> 219,03
	IAC 435	< 69,17	69,17-83,47	83,47-134,76	> 134,76

4.3.3. Potássio: a adição de doses crescentes de potássio na solução nutritiva ocasionou mudanças estatisticamente significativas sobre a concentração foliar de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio contidos nas folhas recém-maturas do colmo principal do arroz no estágio de primórdio floral (Tabela 18).

Em razão das significâncias encontradas, mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau foram obtidas as curvas referentes às Figuras 11, 12, 13 e 14. A Figura 11 onde se relacionou doses crescentes de potássio fornecidos na solução nutritiva com os teores foliares de potássio, foram constatados elevados graus de correlação linear para ambas as cultivares.

Ao se correlacionar teores foliares de potássio com os de nitrogênio, as equações de regressão polinomial significativas foram as de 2º grau, apresentando em ambas as cultivares elevados graus de correlação quadrática, respectivamente, 0,91 e 0,89 na IAC 47 e IAC 435 (Figura 12).

Este efeito antagônico do potássio sobre o nitrogênio foi também observado por MAYNARD *et alii* (1968), porém está em desacordo com resultados obtidos por KOCK e MENGEL (1977).

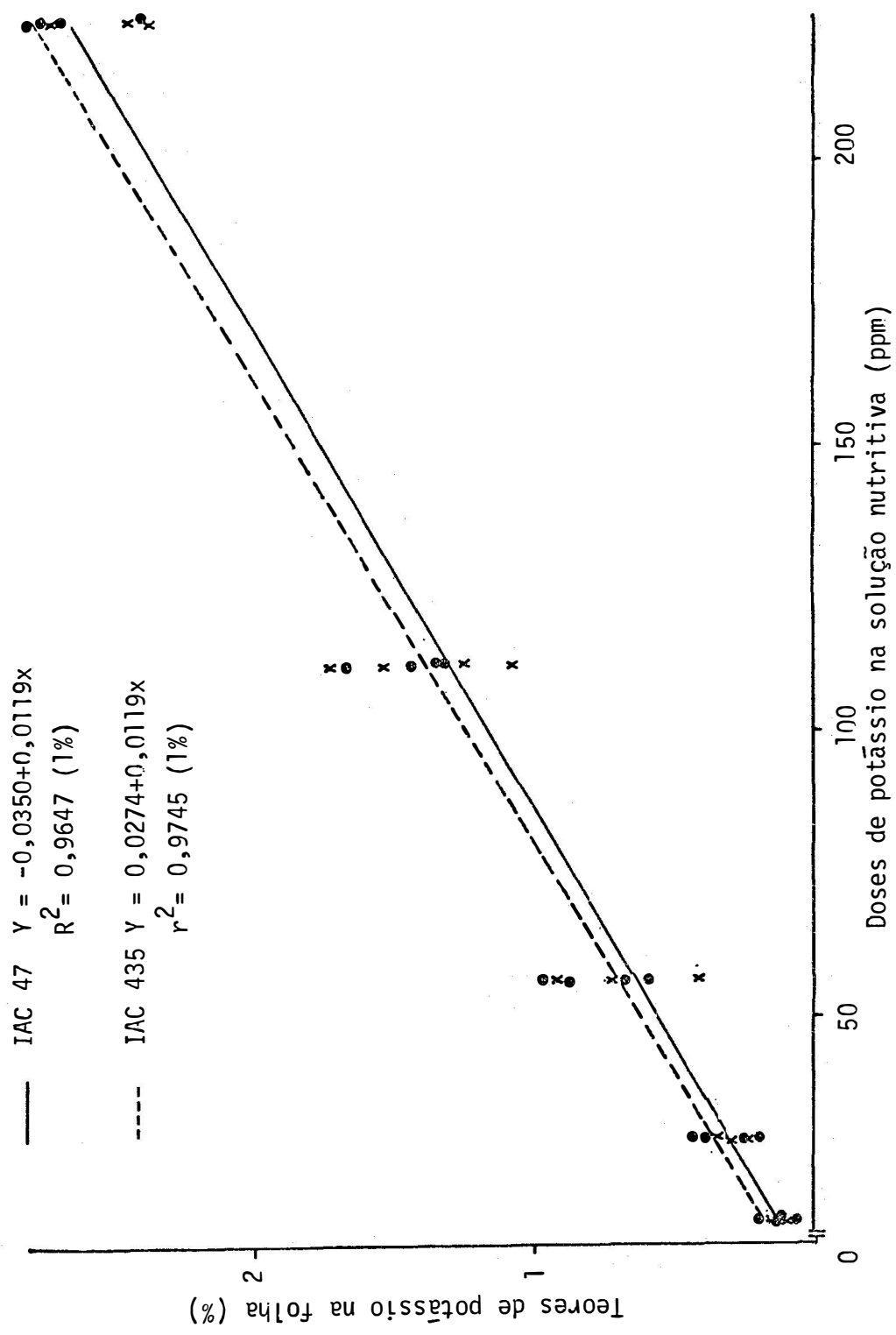
TABELA 18. Efeitos da adição de potássio sobre a concentração foliar do nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio do arroz cv. IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral (média de 4 repetições).

Potássio Doses (ppm K)	Teor foliar (%)													
	N			K			Ca			Mg			Ca+Mg	
	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435
14	4,76c	4,18c	0,11a	0,11a	0,92	0,86a	0,72b	0,70bc	1,64bc	1,56ab				
28	4,62c	4,10c	0,27ab	0,33a	0,93	1,01ab	0,77b	0,67bc	1,69c	1,68b				
56	3,57b	3,58b	0,61b	0,78b	1,05	1,11ab	0,71b	0,75c	1,76c	1,85b				
112	3,09a	3,20a	1,41c	1,43c	0,99	1,25b	0,47a	0,59b	1,46ab	1,85b				
	2,90a	3,29ab	2,58d	2,63d	0,95	0,90a	0,46a	0,41a	1,41a	1,32a				
F	128,43**	38,75**	115,37**	187,23**	3,06*	7,33**	13,73**	19,96**	9,16**	7,16**				
C.V.	4,02	3,97	19,00	14,05	6,67	11,30	12,81	9,48	6,19	10,07				
DMS(Tukey)(5%)	0,33	0,32	0,41	0,32	0,14	0,25	0,17	0,13	0,22	0,36				

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.



FIGURÁ 11. Relação entre doses de potássio na solução nutritiva e teores na folha de arroz, cultivares IAC47 e IAC 435.



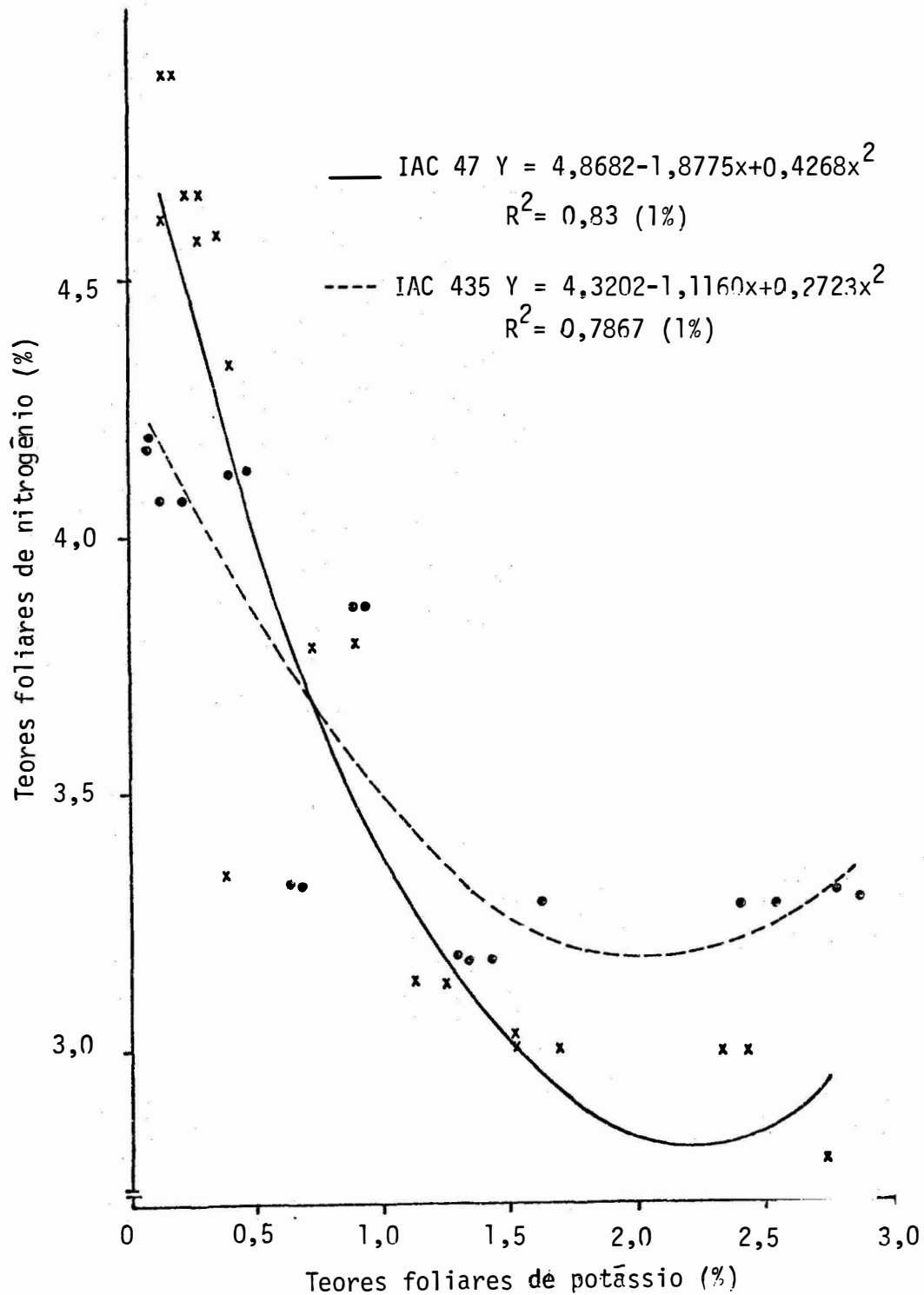


FIGURA 12. Relação entre teores foliares de potássio e nitrogênio total no arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

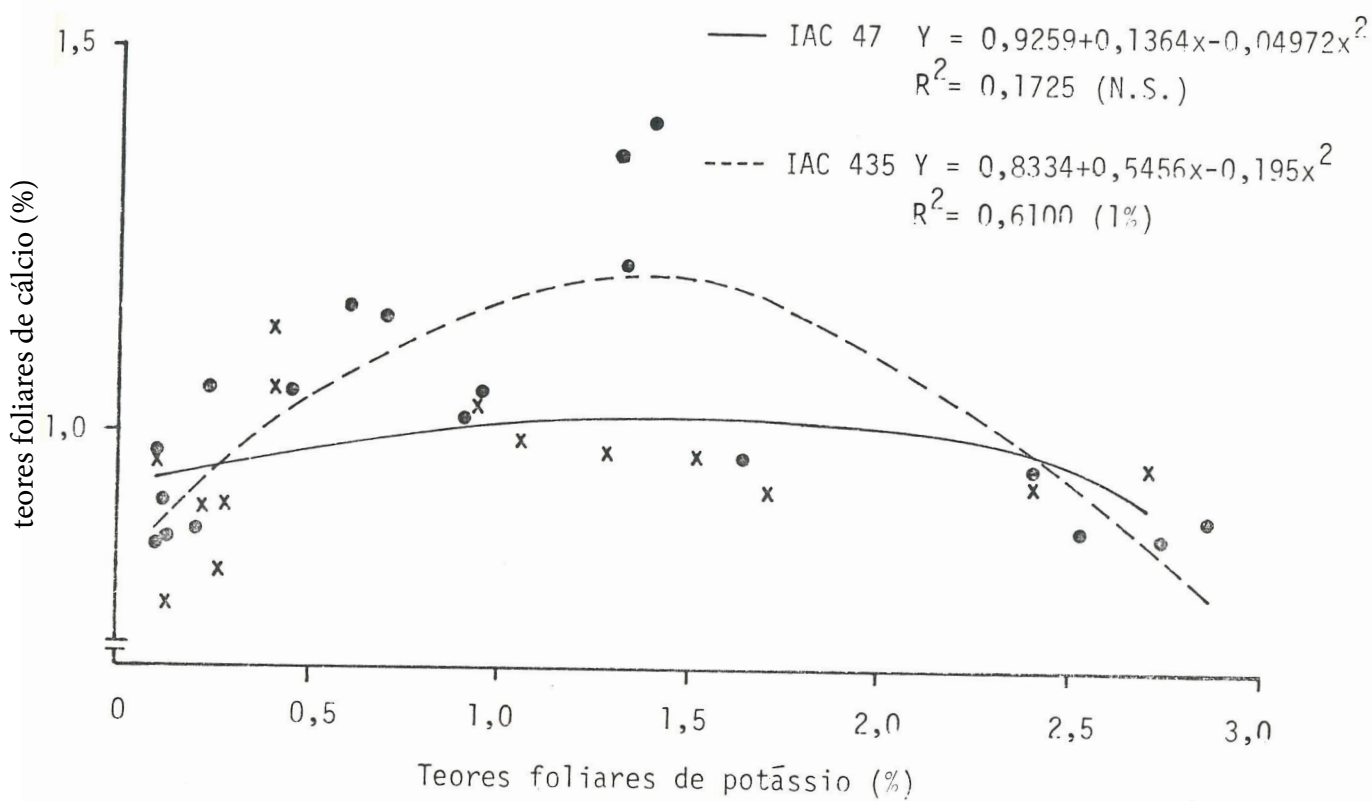


FIGURA 13. Relação entre teores foliares de potássio e cálcio em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

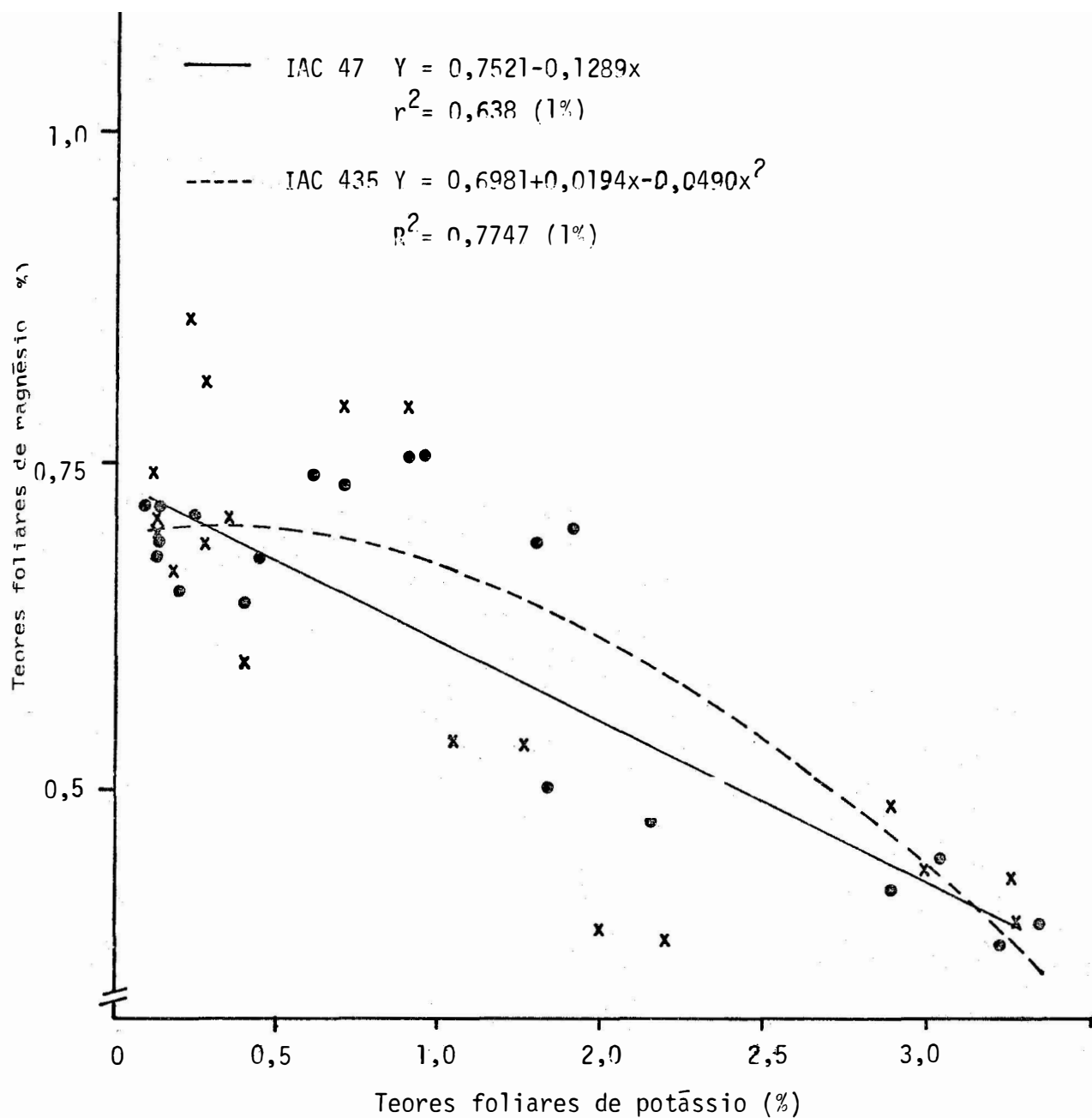


FIGURA 14. Relação entre teores foliares de potássio e magnésio em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435

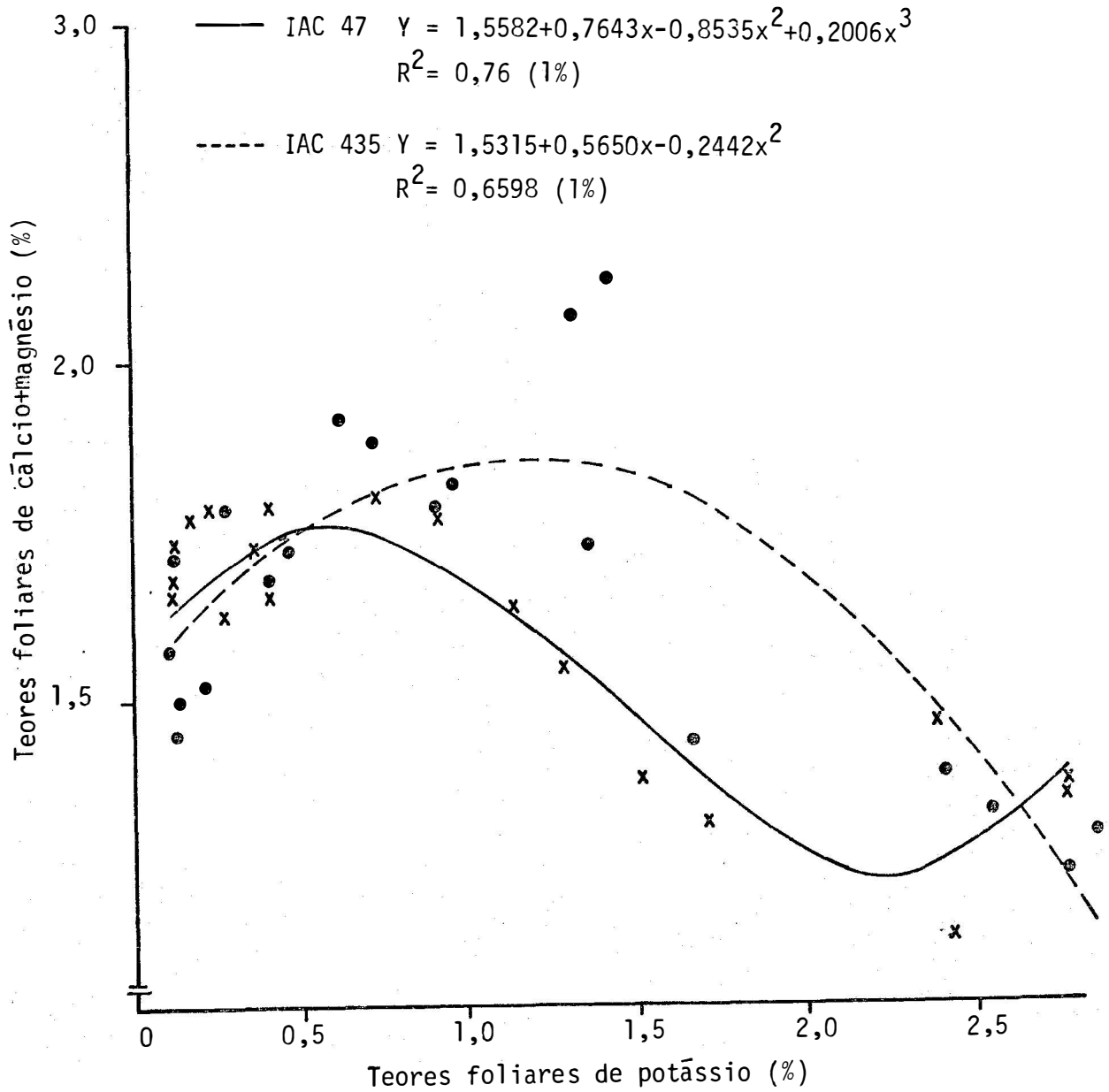


FIGURA 15. Relação entre teores foliares de potássio e cálcio+magnésio em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

Ao se analisar o efeito de teores foliares crescentes de potássio sobre o conteúdo foliar de cálcio foi observado que 17,25 e 61,00% da variação dos dados obtidos foram explicáveis por equações de regressão do 2º grau, respectivamente nas cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 13).

Do exposto foi observado o efeito sinérgico do potássio, quando em baixas concentrações, sobre o cálcio, no que foi concorde com MALAVOLTA (1979b) e a medida que se elevou o conteúdo de potássio ocorreu uma redução na absorção do cálcio, demonstrativo de acordo com DIJKSHOORN *et alii* (1974), de uma ação competitiva destes dois cátions, pelo mesmo sítio de absorção.

Na Figura 14, onde se correlacionou os teores foliares de potássio com aqueles de magnésio no mesmo tecido da planta de arroz, foi constatado um alto grau de correlação linear na cv. IAC 47 ( $r = 0,80^{**}$ ) e quadrática na cv. IAC 435 ( $R = 0,88^{**}$ ).

Este efeito antagônico existente entre potássio e magnésio está sobejamente conhecido, conforme relatado, entre outros, por GALLO *et alii* (1968) e DIJKSHOORN *et alii* (1974).

Na Figura 15 acham-se correlacionados os teo

res foliares de potássio, com os de cálcio + magnésio, onde foram constatados efeitos sinérgicos entre estes nutrientes, sob baixos teores de potássio ( $\leq 0,60\%$  na cv. IAC 47 e  $\leq 1,2\%$  na IAC 435) e antagônicas quando as concentrações desse nutriente foram superiores aos citados.

Ao se estudar a correlação existente entre os teores de potássio nas folhas amostradas de plantas de arroz no estágio de primórdio floral com a produção de grãos em casca, foi constatado que as equações de regressão representativas foram as de 1º e 2º graus, respectivamente, para as cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 16).

Para o caso da cv. 435; por estar a produção de grãos crescendo linearmente com o acréscimo observado no teor de potássio, não foram determinados os teores deste nutriente correspondentes às faixas de deficiência, críticas, adequadas e excessivas, através da metodologia proposta por MARTIN e MATOCHA (1973) e FAGERIA (1976a, 1976b). Em razão do exposto foram utilizados como critérios de teores adequados, as concentrações foliares de potássio capazes de possibilitar produções de grãos superiores a 36 gramas por planta e deficientes, menos de 32 gramas por planta. A observação da Figura 16 mostra que tais produções não foram atingidas.

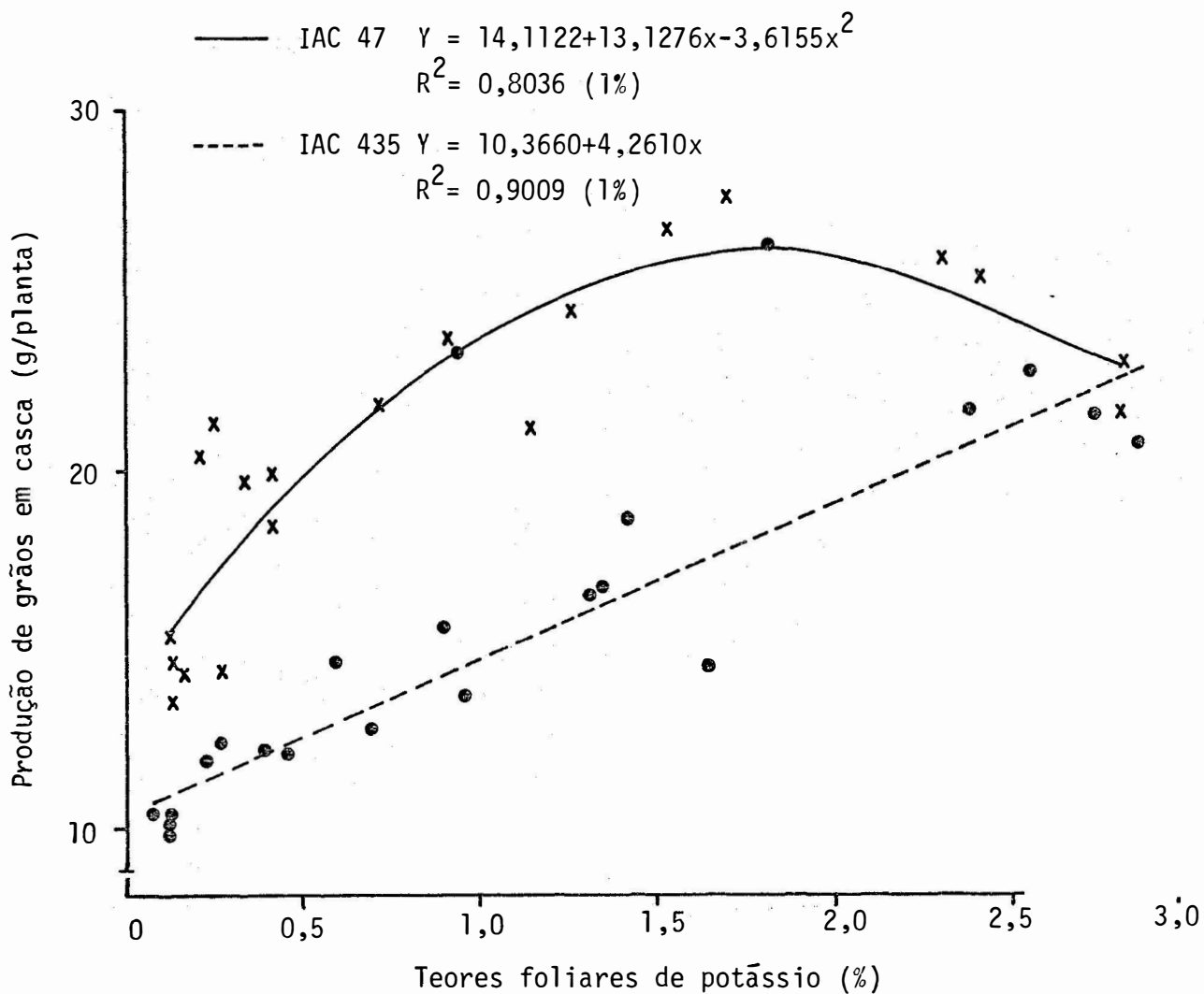


FIGURA 16. Relação entre teores foliares de potássio (%) e produção de grãos em casca (g/planta) em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

Baseado nos teores foliares de deficiência, críticos adequados e excessivos de potássio, foram determinados com auxílio gráfico e/ou matemático, os teores foliares de nitrogênio (Figura 12), cálcio (Figura 13), magnésio (Figura 14) e cálcio + magnésio (Figura 15) correspondentes ao que possibilitou a elaboração dos dados contidos na Tabela 19.

TABELA 19. Teores deficientes, críticos, adequados e excessivos de potássio e das relações N/K, K/Ca, K/Mg e K/Ca+Mg nas folhas do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostradas no estágio de primórdio floral.

Nutriente e relação entre nutrientes	Cultivar	Teores e relações			
		deficientes	críticos	adequados	excessivos
K	IAC 47	$\leq 0,62\%$	0,62-0,97%	0,97-1,82%	$> 1,82\%$
	IAC 435	$< 2,85\%(?)$	-	-	-
N/K	IAC 47	$> 6,24$	6,24-3,56	3,56-1,57	$< 1,57$
	IAC 435	-	-	-	-
K/Ca	IAC 47	$< 0,62$	0,62-0,96	0,96-1,82	$> 1,82$
	IAC 435	-	-	-	-
K/Mg	IAC 47	$< 0,92$	0,92-1,54	1,54-3,50	$> 3,50$
	IAC 435	-	-	-	-
K/Ca+Mg	IAC 47	$< 0,35$	0,35-0,58	0,58-1,37	$> 1,37$
	IAC 435				



Mais uma vez do exposto se constata diferenças entre as cultivares, no que tange a respostas frente a adubação potássica, onde os teores de potássio considerados adequados para a cv. IAC 47 foram deficientes para a cv. IAC 435. Os teores de potássio obtidos na IAC 47 assemelham-se aos obtidos na Califórnia por Mikkelsen e Hunziker (1977) citados por WARD *et alii* (1973) porém divergem dos obtidos por FAGERIA (1976a), com os quais a cv. IAC 435 parece concordar. Entretanto, por ser o estado nutricional de um dado nutriente afetado por fatores genéticos e ambientais (TANAKA e YOSHIDA, 1970), os dados obtidos deverão ser usados apenas como um guia para a diagnose do estado nutricional do potássio.

4.3.4. Enxofre: o fornecimento de enxofre na forma de  $SO_4^{2-}$  em doses crescentes na solução nutritiva deficiente neste nutriente ocasionou mudanças estatisticamente significativas sobre a concentração foliar de nitrogênio, fósforo e enxofre contidos nas folhas recém maturas do colmo principal do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral (Tabela 20).

Utilizando-se os dados originais, mediante os quais se obteve aqueles referentes à Tabela 20, através da utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau, foram obtidas as curvas referentes às Figuras 17, 18 e 19.

TABELA 20. Efeitos da adição de enxofre sobre a concentração foliar de nitrogênio, fósforo e enxofre do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral (média de 4 repetições).

Enxofre Doses (ppm S)	Teor foliar (%)					
	N		P		S	
	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435
4	4,52	5,02c	1,63ab	1,26c	0,39a	0,36a
8	4,63	4,61b	1,70b	1,06bc	0,41ab	0,37a
16	4,56	4,51ab	1,54ab	1,32c	0,41ab	0,38ab
32	4,56	4,34a	1,54ab	0,84ab	0,43b	0,38ab
64	4,67	4,34a	1,50a	0,70a	0,44b	0,40b
F	2,22 <sup>ns</sup>	37,46 <sup>**</sup>	4,40 <sup>*</sup>	19,37 <sup>**</sup>	16,04 <sup>**</sup>	21,22 <sup>**</sup>
CV (%)	1,77	2,01	4,93	11,63	2,70	1,80
DMS(Tukey) 5%		0,20	0,17	0,27	0,03	0,02

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade

n.s. não significativo ao nível de 5% de probabilidade

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si.

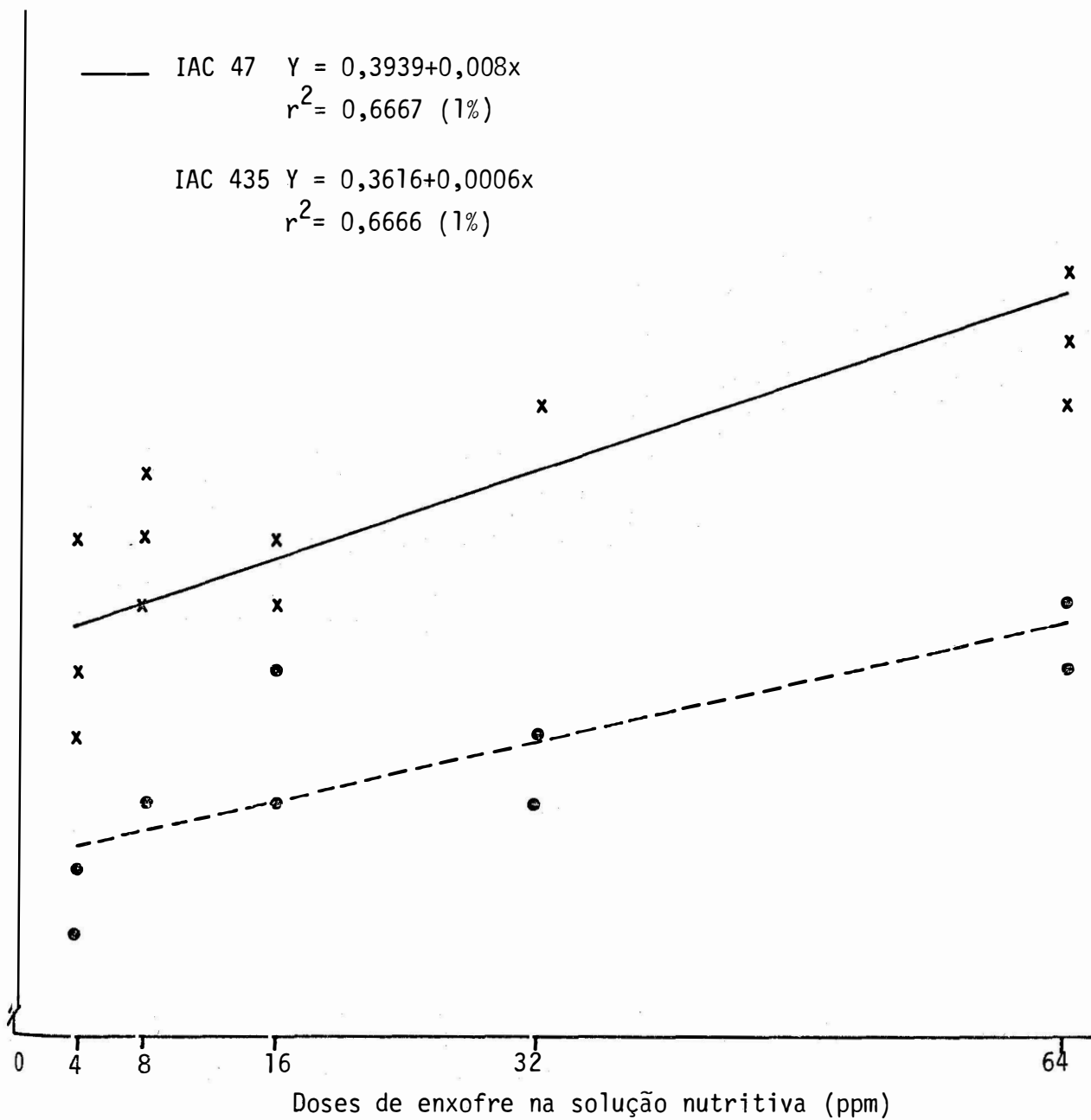


FIGURA 17. Relação entre doses de enxofre na solução nutritiva e teores na folha em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

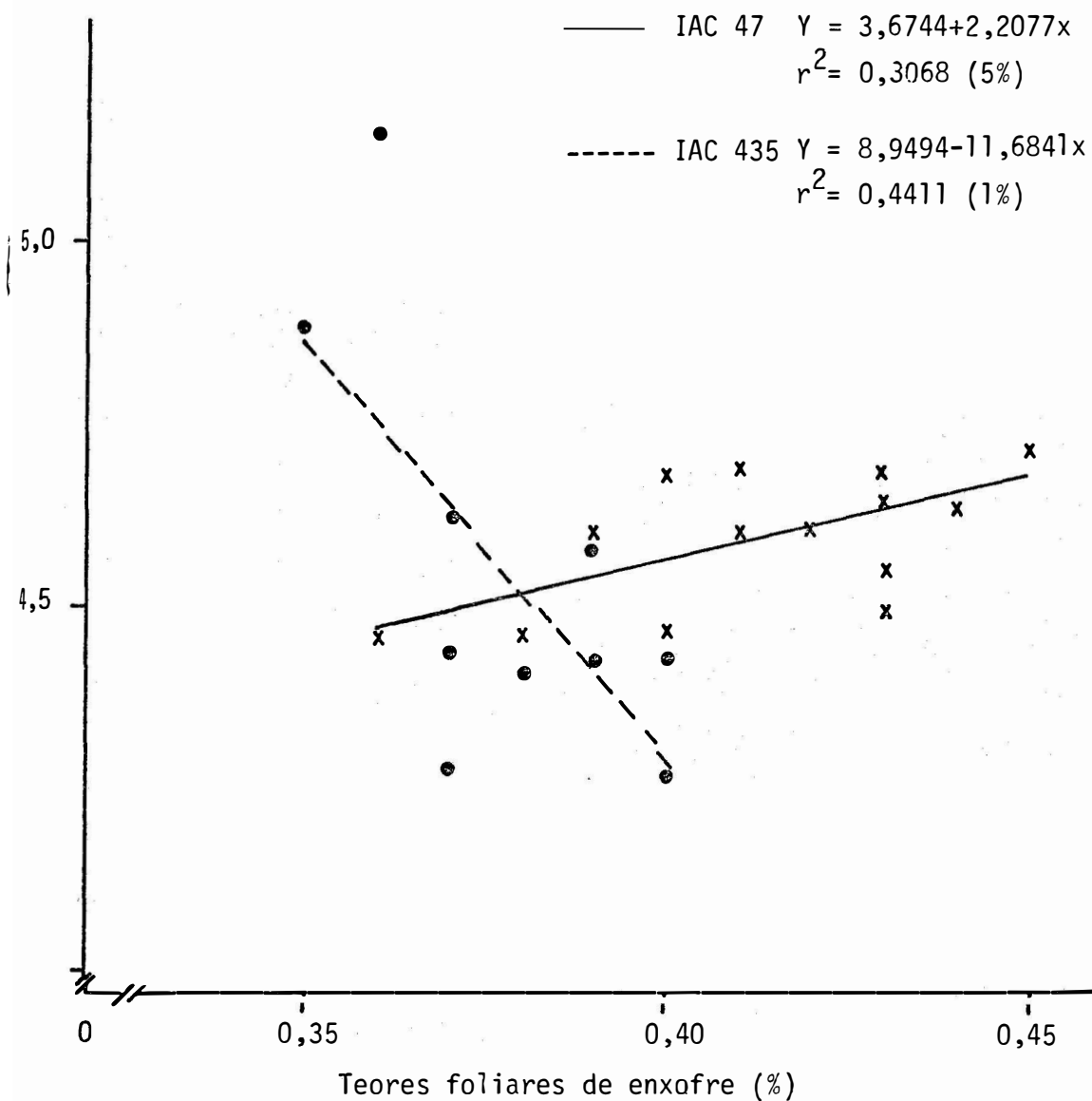


FIGURA 18. Relação entre teores foliares de enxofre e nitrogênio em arroz cultivares IAC 47 e IAC 435.

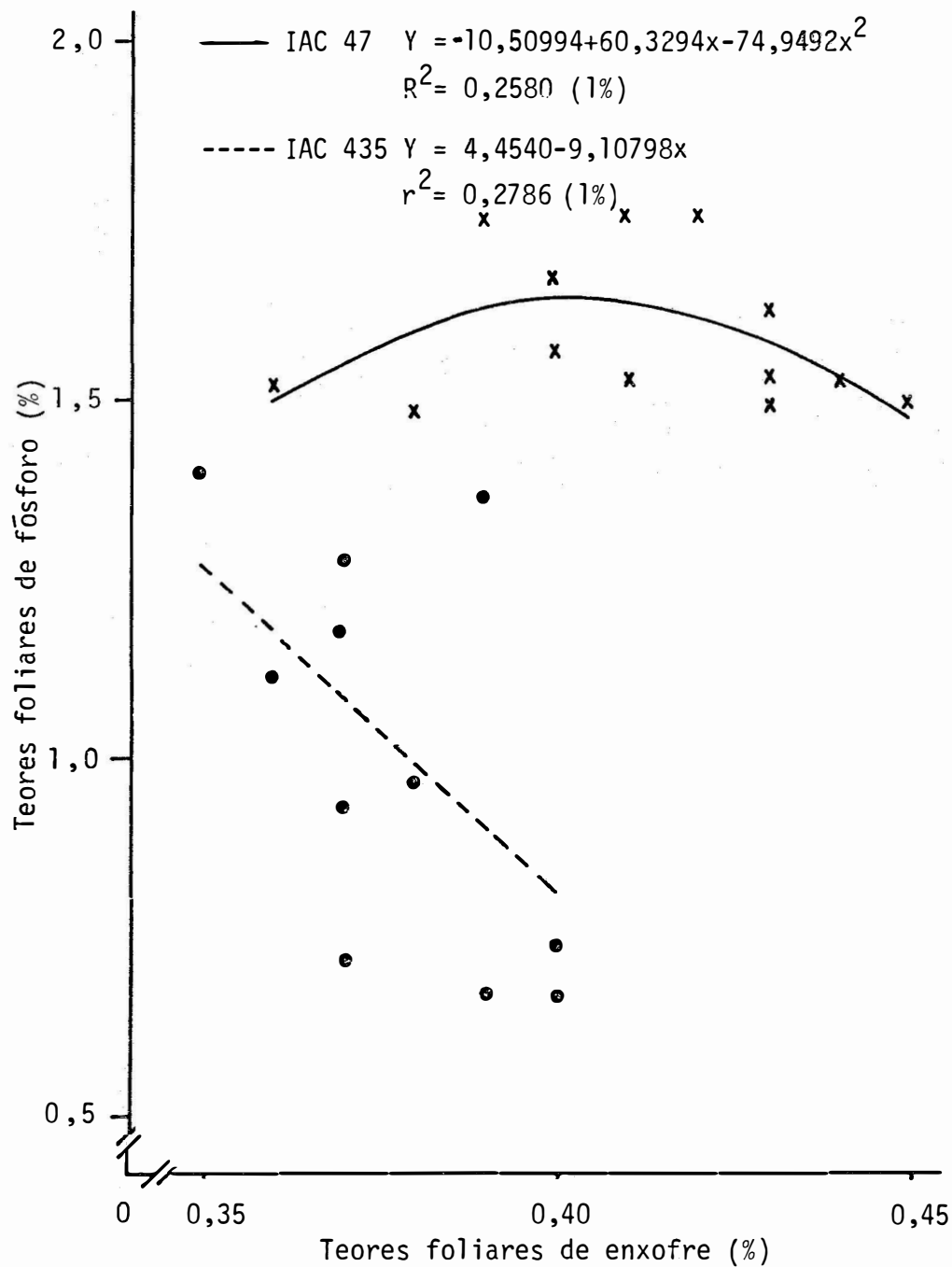


FIGURA 19. Relação entre teores foliares de enxofre e fósforo em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

Na Figura 17 onde foram correlacionados doses crescentes de enxofre fornecidos na solução nutritiva com os teores foliares de enxofre, foram constatados elevados graus de correlação linear, ou seja  $0,8165^{**}$ , em ambas as cultivares.

Ao se analisar os efeitos ocasionados por teores crescentes de enxofre foliar sobre o conteúdo foliar de nitrogênio, (Figura 18) foi observado que 30,68 e 44,11% da variação dos dados obtidos foram explicáveis por equação de regressão do 1º grau, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435.

O efeito sinérgico do enxofre na absorção do nitrogênio na cv. IAC 47 e antagônico na cv. IAC 435, confirma a ocorrência de uma relação entre estes dois nutrientes na planta (DEV e SAGGAR, 1971), havendo de acordo com os dados contidos na Tabela 10, uma tendência de se aumentar a produção de matéria seca total, com correspondente aumento na produção de grãos exceto na IAC 435 à medida que a relação N/S decresceu na cv. IAC 47 de 12,41/1 a 10,38/1 e na cv. IAC 435, de 13,88/1 para 10,70/1 (Figura 17), relações essas abaixo daquela ( $> 17/1$ ) considerada como capaz de sugerir eventual deficiência de enxofre (WALLIHAN e SHARPLESS, 1974).

A Figura 19, obtida através da correlação em

teores foliares de enxofre com os de fósforo no mesmo tecido, permitiu observar reduzidos coeficientes de determinação, onde apenas 27,86 e 25,80% da variação dos dados foram explicáveis por equações polinomiais do 1º e do 2º graus, respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435.

O efeito sinérgico inicial do enxofre sobre o fósforo observado na cv. IAC 47 foi também constatado por KUMAR e SINGH (1980); entretanto, os efeitos inibitórios posteriores observados nesta cultivar e na IAC 435, foram semelhantes àqueles obtidos quando se avaliou o efeito de teores crescentes de fósforo sobre o conteúdo de enxofre. Entretanto, a ação inibitória do enxofre sobre o fósforo não ocasionou reduções prejudiciais nos teores deste nutriente; pelo contrário, os teores de fósforo constatados foram mantidos em teores considerados como excessivos (Tabela 17).

Ao se estudar a possível correlação existente entre os teores foliares de enxofre total e produção de grãos em casca, mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau, foram constatados (Figura 20) a não ocorrência de uma equação de regressão representativa para a cv. IAC 435, ou seja, para teores foliares compreendidos entre 0,35-0,40% de S total, a produção de grãos não foi afetada. É interessante observar que tais teores foram supe

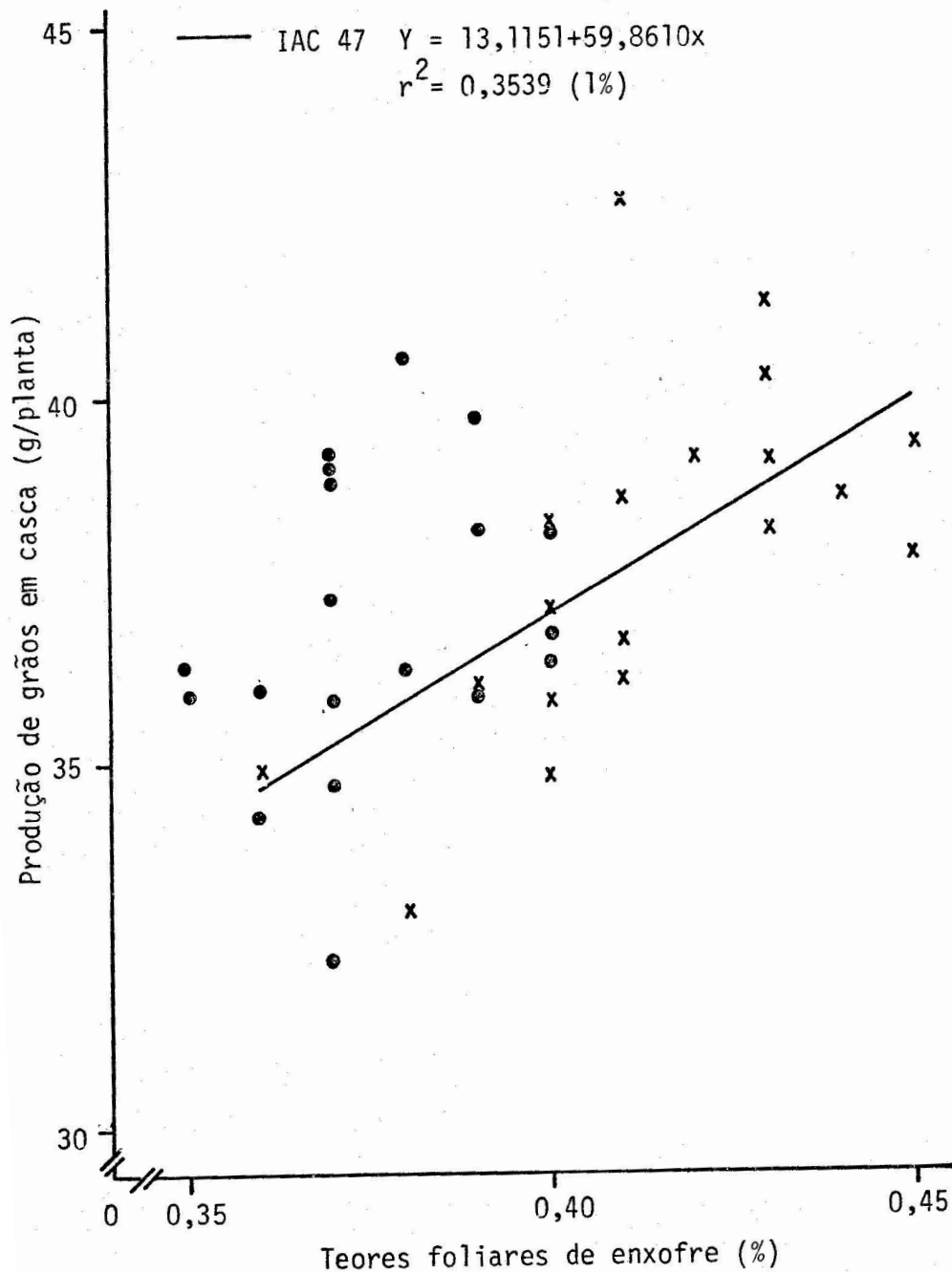


FIGURA 20. Relação entre teores foliares de enxofre (%) e produção de grãos em casca (g/planta) em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.



riores aos considerados como críticos ao arroz por OSINAME e KANG (1975) e FAGERIA (1976a) o que provavelmente foi a causa da ausência de resposta observada. Para a cv. IAC 47 a equação de regressão representativa foi de 1º grau, ou seja, a produção de grãos em casca cresceu linearmente quando o teor foliar de enxofre passou de 0,36% para 0,45% de S total.

Em virtude do constatado na cv. IAC 47, foi utilizado o critério de se considerar como teores foliares adequados de enxofre, aqueles capazes de possibilitar produções de grãos superiores a 36 gramas por planta; teores críticos, 32-36; teores deficientes, menos de 32 gramas por planta.

Baseado pois, nos teores foliares de deficiências críticas e adequados de zinco, determinados através da utilização da Figura 20, foram obtidos os teores de nitrogênio (Figura 18) e fósforo (Figura 19) correspondentes, o que possibilitou a obtenção da Tabela 21.

4.3.5. Zinco: a adição de doses crescentes de zinco na solução nutritiva deficiente neste micronutriente permitiu constatar, mediante a utilização do teste de Tukey a 5% a ocorrência de mudanças significativas nos teores fo

TABELA 21. Teores deficientes, críticos e adequados de enxofre e das relações N/S e P/S nas folhas do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostradas no estágio de primórdio floral.

Nutriente e relação entre nutrientes	Cultivar	Teores e relações		
		deficientes	críticos	adequados
S	IAC 47	-	-	> 0,38%
	IAC 435	-	-	> 0,36%
N/S	IAC 47	-	-	< 11,84
	IAC 435	-	-	< 13,19
P/S	IAC 47	-	-	> 4,21
	IAC 435	-	-	> 3,19

liares de fósforo, cobre, ferro, manganês e zinco (Tabela 22) em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostradas no estágio de primórdia floral.

Mediante a utilização da análise de regressão polinomial até o 3º grau, foram obtidas as curvas referentes às Figuras 21, 22, 23, 24 e 25. Na Figura 21, resultado das correlações entre doses crescentes de zinco, fornecido na solução nutritiva, com os teores foliares deste nutriente, foram constatados elevados graus de correlação linear em ambas as cultivares, com a IAC 47 apresentando, em relação à IAC 435, um maior teor deste nutriente nos tecidos amostrados, provavelmente, como resultado da influência de condições climáticas e/ou ambientais (ANGLADETE, 1964).

A análise das correlações existentes entre teores foliares de Zn com os de fósforo no mesmo tecido, permitiram determinar que 46,30% e 54,61% da variação dos dados foram explicáveis por equações de regressão do 1º grau respectivamente, nas cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 22).

Este efeito depressivo do zinco sobre o fósforo foi também observado entre outros por GIORDANO e MORTVEDT (1972), BAHIA e BRAGA (1974) e MALAVOLTA e LOPEZ GOROSTIAGA (1974), bem como no presente trabalho ao se estudar o efeito

TABELA 22. Efeitos da adição de zinco sobre a concentração foliar do fósforo, cobre, ferro, manganês e zinco do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, no estágio de primórdio floral (média de 4 repetições).

Zinco Doses (ppm Zn)	Teor foliar											
	P (%)		Cu (ppm)		Fe (ppm)		Mn (ppm)		Zn (ppm)			
	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435	IAC 47	IAC 435
$6,30 \cdot 10^{-3}$	0,70b	0,59b	23,57c	14,35c	229,25b	186,25	172,25b	169,00b	20,00a	16,50a		
$1,25 \cdot 10^{-2}$	9,59b	0,42a	16,98b	12,75c	187,25a	157,75	144,00ab	127,50ab	21,25a	16,50a		
$2,50 \cdot 10^{-2}$	0,59b	0,35a	13,58ab	10,07b	182,25a	150,00	152,76ab	108,25a	24,00a	17,50ab		
$5,00 \cdot 10^{-2}$	0,39a	0,34a	13,23a	8,10a	158,00a	154,25	142,25ab	112,00a	29,50b	20,25b		
$\cdot 10^{-1}$	0,38a	0,33a	11,18a	8,92ab	154,75a	140,25	123,00a	107,50a	37,75c	25,50c		
F	13,91 <sup>**</sup>	24,09 <sup>**</sup>	32,39 <sup>**</sup>	50,75 <sup>**</sup>	16,05 <sup>**</sup>	2,39 <sup>n.s.</sup>	3,41	4,64	35,57 <sup>**</sup>	30,39 <sup>**</sup>		
CV. (%)	14,35	11,15	10,89	6,82	8,19	14,15	13,18	19,31	8,96	7,19		
DMS(Tukey) (5%)	0,17	0,10	3,74	1,62	32,63		42,38	52,69	5,19	3,02		

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

n.s. não significativo ao nível de 5% de probabilidade

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si

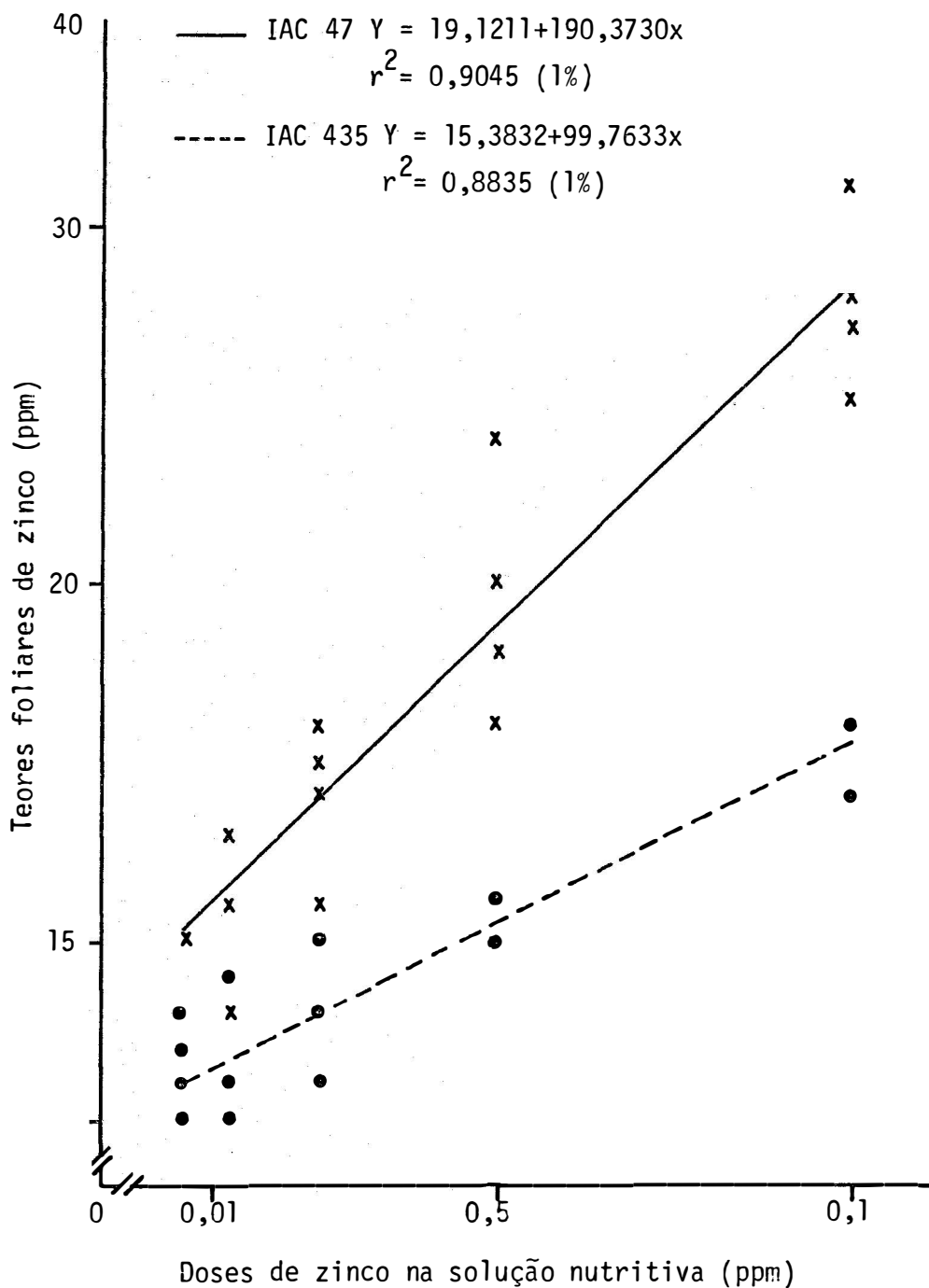


FIGURA 21. Relação entre doses de zinco na solução nutritiva e teores na folha em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

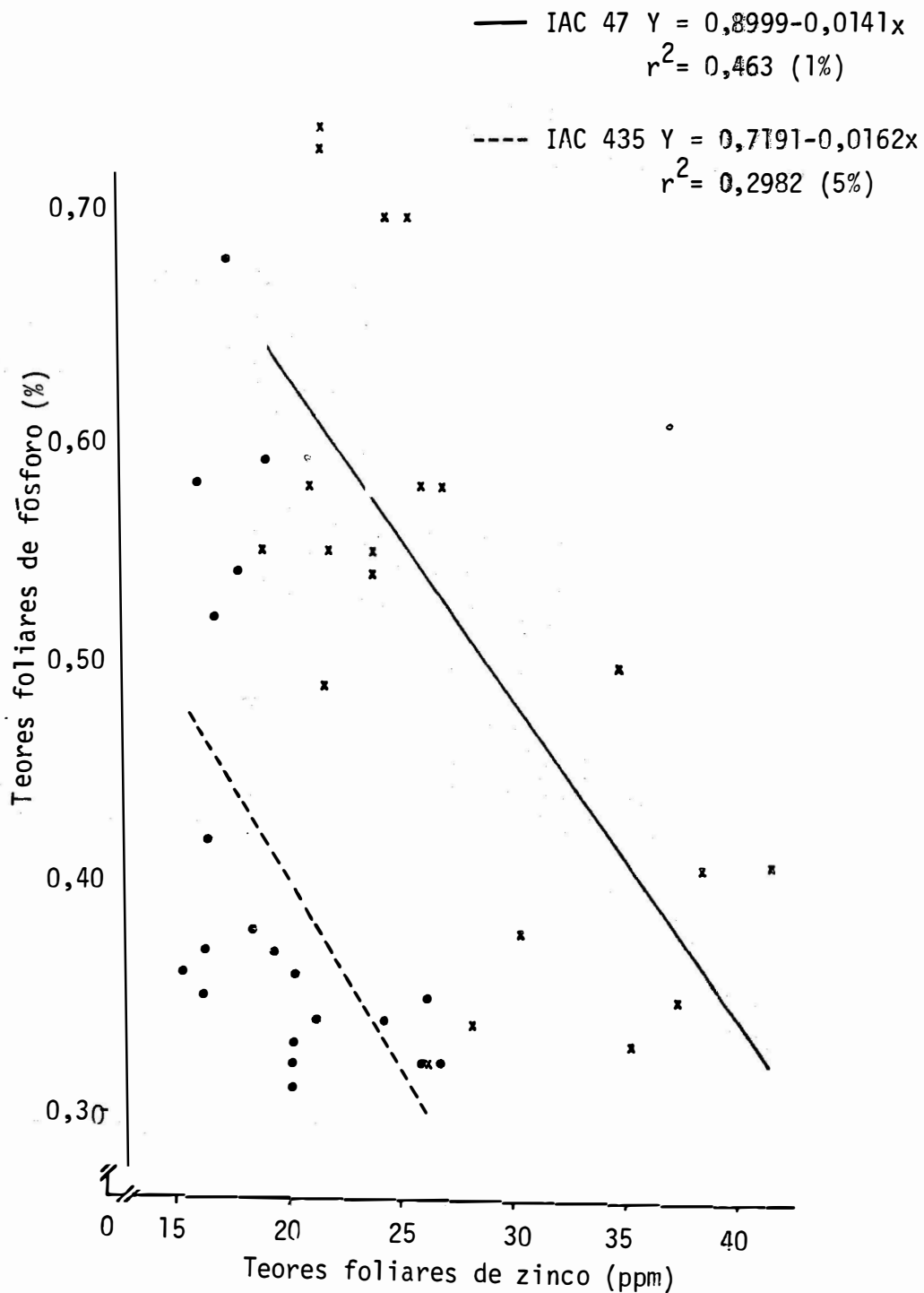


FIGURA 22. Relação entre teores foliares de zinco e fósforo total em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

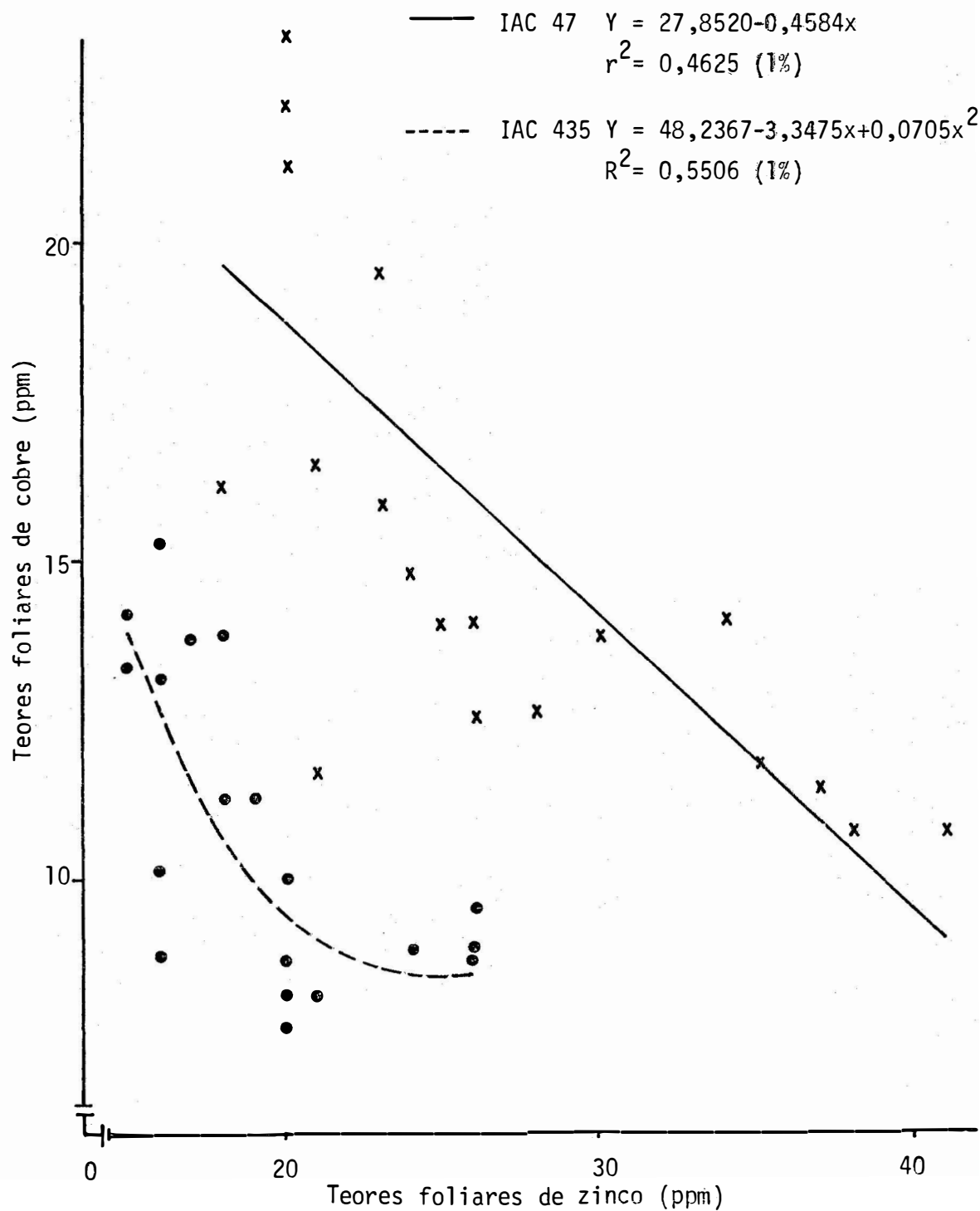


FIGURA 23. Relação entre teores foliares de zinco e cobre em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

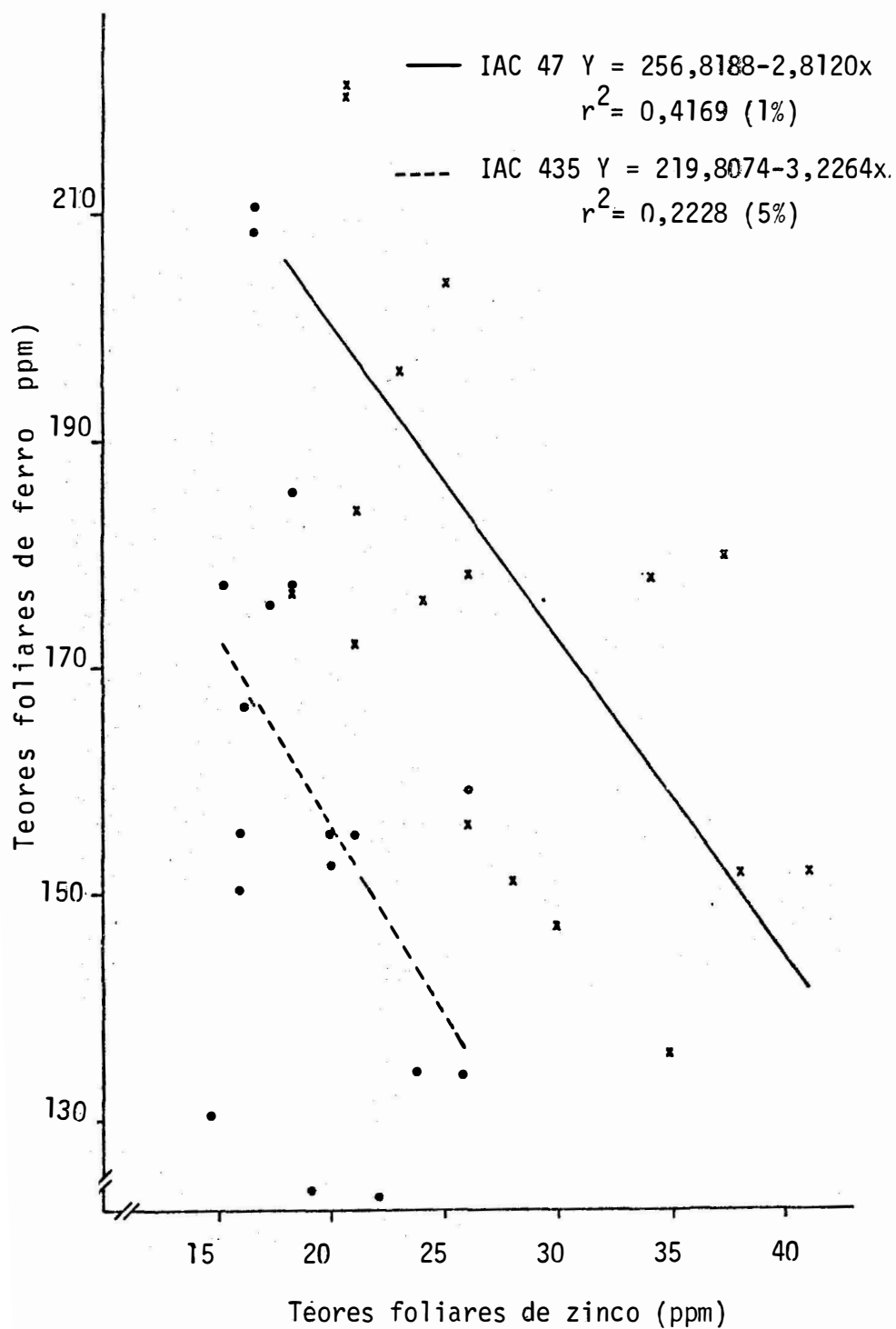


FIGURA 24 Relação entre teores foliares de zinco e ferro em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.



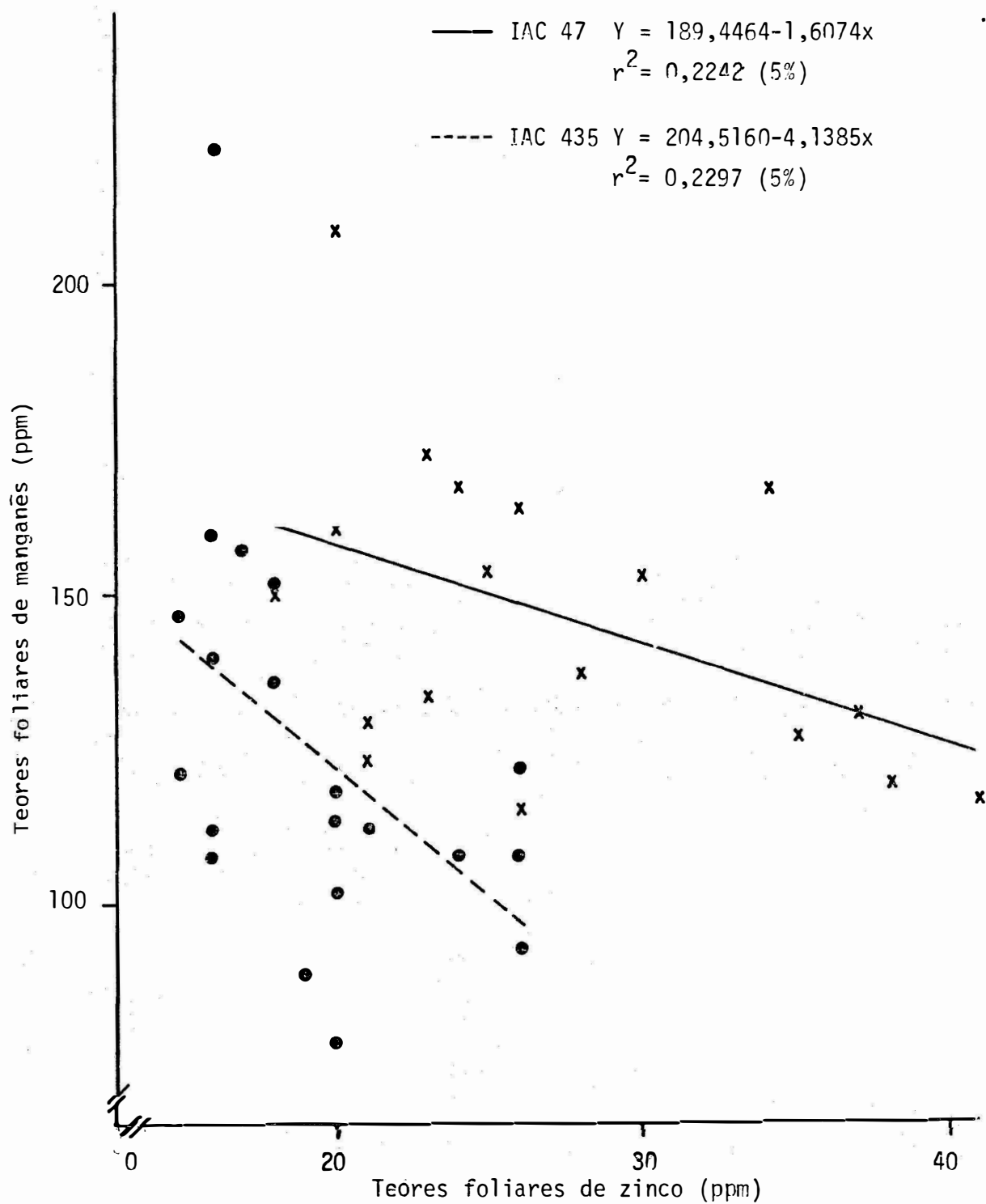


FIGURA 25. Relação entre teores foliares de zinco e manganês em arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435.

de doses crescentes de fósforo sobre o teor foliar de zinco.

Na Figura 23, resultado das correlações entre teores foliares de zinco com os de cobre, foram constatados em ambas as cultivares o efeito inibitório do zinco sobre o conteúdo foliar de cobre à semelhança dos resultados obtidos por BRAR e SEKHON (1976a) e por HALDAR e MANDAL (1981).

Ao se correlacionar teores foliares de zinco com os de ferro, as equações de regressão polinomial significativas foram as de 1º grau, com coeficientes de determinação, respectivamente, da ordem de 41,69 e 22,28% para as cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 24).

O efeito depressivo do zinco sobre o ferro constatado em ambas as cultivares foi também observado por BRAR e SEKHON (1976b) em plântulas de arroz, os quais concluíram pela ocorrência de inibição não competitiva entre ambos os nutrientes.

A análise dos dados referentes aos teores foliares de zinco e de manganês permitiram constatar que as equações de regressão polinomial significativas foram de 1º grau, com coeficientes de correlação linear de 0,4734\* e 0,4793, respectivamente, para as cultivares IAC 47 e IAC 435

(Figura 25).

O efeito inibitório do zinco sobre o conteúdo de manganês foi também obtido em trabalhos experimentais conduzidos, em especial, nas Filipinas na cultura do arroz (IRRI, 1970b; IRRI, 1972b; KATYAL e PONNAMPERUMA, 1974), que possibilitaram concluir que ambos os nutrientes competem pelo mesmo sítio de absorção.

Mediante a utilização de análise de regressão polinomial sobre os dados referentes aos teores foliares de zinco contidos em arroz, e produção de grãos em casca, foi constatado serem as equações de regressão representativas, às de 1ª e de 2ª graus, respectivamente, para as cultivares IAC 47 e IAC 435 (Figura 26).

Entretanto, na cultivar IAC 435, a produção de grãos em casca cresceu linearmente com os acréscimos observados nos teores foliares de zinco, impossibilitando nesta cultivar, a determinação dos teores desse nutriente, referentes às faixas de deficiência, crítica, adequada e excessiva, através da metodologia proposta por MARTIN e MATOCHA (1973) e FAGERIA (1976a, 1976b), e adotada no presente ensaio para a cv. IAC 47. Em razão do ocorrido, foram utilizados na cv. IAC 435, como critério de teores foliares adequa

— IAC 47 =  $Y = - 113,5437 + 8,3026x - 0,1091x^2$   
 $R^2 = 0,7749$  (1%)

- - - IAC 435  $Y = - 38,7625 + 3,7345x$   
 $r^2 = 0,6266$  (1%)

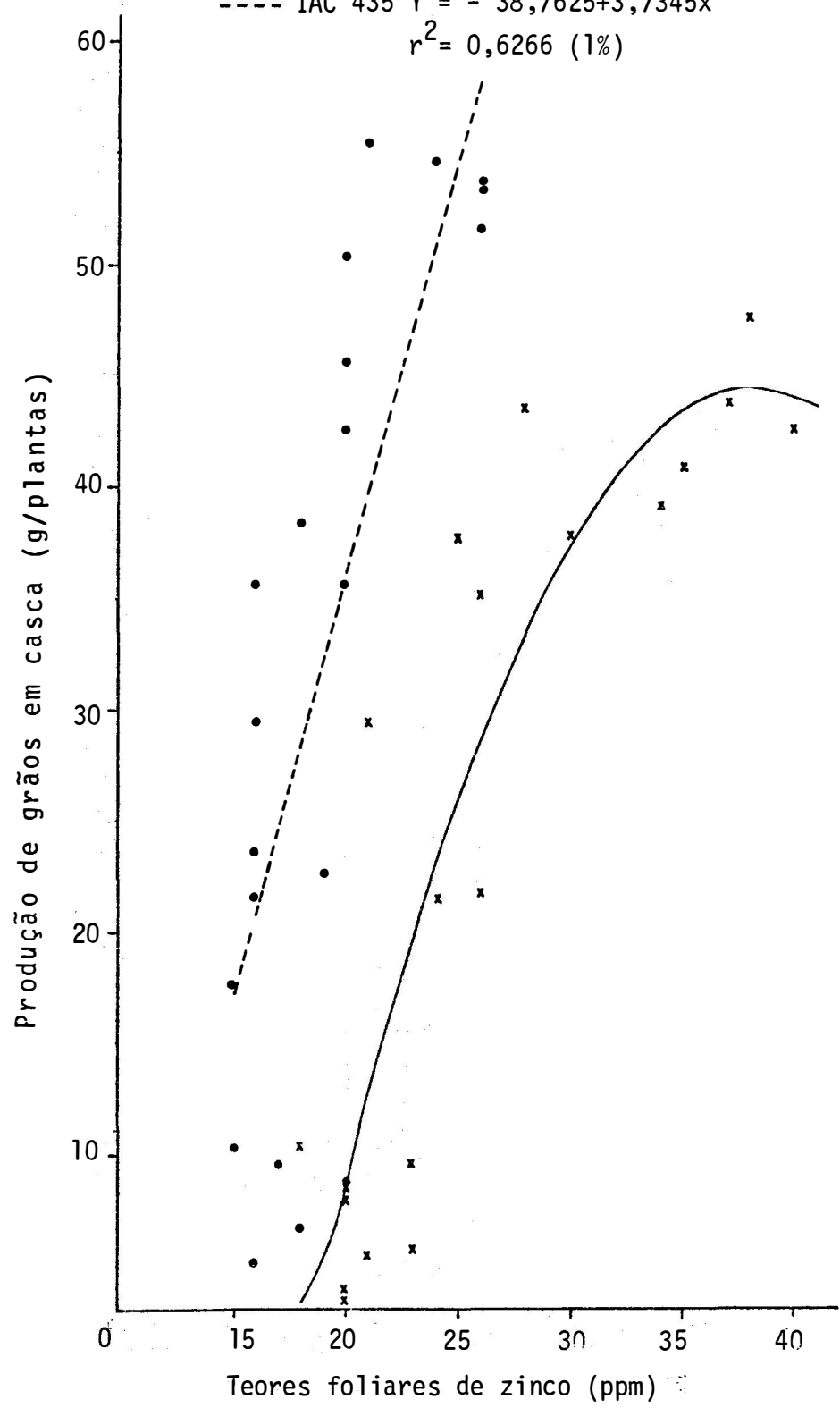


FIGURA 26. Relação entre teores foliares de zinco (ppm) e produção de grãos em casca no arroz (g/planta), cultivares IAC 47 e IAC 435.

dos de zinco, aqueles capazes de possibilitar produções de grãos superiores a 36 gramas por planta ; de teores críticos, 32-36; de teores deficientes, menos de 32 gramas por planta. A observação da Figura 26 mostrou a viabilidade de tal metodologia.

Baseado nos teores foliares de deficiência, críticos e adequados de zinco, determinados através da Figura 26, conforme as metodologias propostas, foram obtidos mediante o auxílio gráfico e/ou matemático, os teores de fósforo (Figura 22), cobre (Figura 23), ferro (Figura 24) e manganês (Figura 25) correspondentes, com os quais foram determinados os dados sintetizados na Tabela 23.

Os dados contidos na Tabela 23 permitiram constatar que teores foliares de zinco considerados como adequados à cultivar IAC 435 mostraram-se deficientes na IAC 47. Entretanto, o observado na cv. IAC 435 foi concorde parcialmente com os resultados obtidos por BARBOSA Fº e FAGERIA (1980).

TABELA 23. Teores deficientes, críticos e adequados de zinco e das relações P/Zn, Zn/Cu, Fe/Zn e Mn/Zn, nas folhas do arroz, cultivares IAC 47 e IAC 435, amostradas no estágio de primórdio floral.

Nutriente e relação entre nutrientes	Cultivar	Teores e relações		
		deficientes	críticos	adequados
Zn	IAC 47	< 29	29-31	31-38
	IAC 435	< 19	19-20	> 20
P/Zn	IAC 47	> 168	168-142	142-94
	IAC 435	> 216	216-197	< 197
Zn/Cu	IAC 47	< 1,99	1,99-2,37	2,37-3,65
	IAC 435	< 1,90	1,90-2,10	> 2,10
Fe/Zn	IAC 47	< 6,04	6,04-5,30	5,30-3,94
	IAC 435	> 8,37	8,37-7,75	< 7,75
Mn/Zn	IAC 47	> 4,92	4,92-4,38	4,38-3,37
	IAC 435	> 6,58	6,58-6,20	< 6,20

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1. Exigências minerais das cultivares IAC 47 e IAC 435

Os resultados obtidos permitiram tirar as seguintes conclusões:

5.1.1) houve diferenças na produção de matéria seca entre as duas cultivares;

5.1.2) ambas as cultivares confirmaram um comportamento típico semelhante ao das "tradicionais";

5.1.3) ocorreram diferenças entre ambas na composição mineral dos diferentes órgãos;

5.1.4) em geral, os teores de P, Cl e Zn dos graos foram superiores aos encontrados nas demais partes da planta. Os teores de N, K, Ca, Mg, B e Mn foram maiores na parte aérea vegetativa e os de S, Cu e Fe, nas raízes.

5.1.5) as quantidades de nutrientes extraídos e exportados por ambas as cultivares foram diferentes, porem a ordem decrescente de extração e de exportação foi a mesma, ou seja: extração:  $K > N \gg Ca > Mg > P > Cl \gg Fe \gg Mn > Zn > B > Cu$ ;

exportação:  $N \gg P > K > Mg > S \approx Cl > Ca > Fe > Mn \approx Zn > Cu \approx Zn$ .

5.1.6) a maior extração de nutrientes não está necessariamente associada a um maior potencial de colheita.

5.2. Distúrbios nutricionais, causados por deficiência dos nutrientes N, P, K, S e Zn nas cultivares IAC 47 e IAC 435.

Os sintomas de carência dos nutrientes analisados com exceção feita ao S, estão de acordo com a literatura.

5.3. Teores foliares de deficiência, críticos, adequados e excessivos de nutrientes contidos nas cultivares IAC 47 e IAC 435.

5.3.1) os teores foliares de nitrogênio, con



.133.

siderados como adequados foram 3,98-4,27% e 2,84-3,32%, respectivamente nas cultivares IAC 47 e IAC 435; fósforo, 0,24-0,32% e 0,15-0,22%; potássio, 0,97-1,82%; enxofre, > 0,38% e > 0,36%; zinco, 31-38 ppm e > 20 ppm;

5.3.2) constatou-se a ocorrência de interações N x P, N x S, P x S, P x Zn K x N, K x Ca, K x Mg, K x (Ca + Mg), Zn x Cu, Zn x Fe e Zn x Mn;

5.3.3) dependendo do nutriente considerado, os teores e as relações entre os nutrientes considerados como adequados ou deficientes, não foram os mesmos para as duas cultivares.

## 6. LITERATURA CITADA

AGARWALA, S.C. e C.P. SHARMA. 1979. In: *Recognizing micronutrient disorders of crop plants on the basis of visible symptoms and plant analysis*. New Delhi, p. 19-25.

AGRICULTURA DE LAS AMERICAS. 1981. Mexico, v. 8.

AID. 1972. *Tailoring of fertilizers for rice*. Tennessee Valley, 56 p. (Bulletin, 4-52)

ANGLADETTE, A. 1964. Nutritional status as indicated by plant analysis. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4<sup>o</sup> Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI, p. 355-372.

- ARNON, I. 1975. *Mineral nutrition of maize*. Berne International Potash Institute, 452 p.
- BABA, I.; K. INADA; K. TAJIMA, 1964. Mineral nutrition and the occurrence of physiological diseases. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI, p. 173-198.
- BAHIA, F.G.T.C. e J.M. BRAGA. 1974. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco, em dois solos de Minas Gerais. *R. Ceres*, Viçosa, 21(115):167-192.
- BARBOSA Fº, M.P. e N.K. FAGERIA. 1980. *Ocorrência, diagnose e correção da deficiência de zinco na cultura de arroz de sequeiro*. Goiânia, CNPAF, 18 p. (Circular Técnica, 4).
- BASAK, M.N. 1962. Nutrient uptake by rice plant and its effect on yield. *Agron. Jour.*, Washington, 54(5):373-376.
- BEATON, J.D. 1966. Sulphur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. *Soil Sci.*, New Brunswick, 101(4):267-282.
- BLAIR, G.J.; C.P. MAMARIL, E. MOMUAT. 1978. Sulfur nutrition of wetland rice *IRPS*, Los Baños, 21:1-29.

- BOWEN, J.E. 1981. Hierro. Elemento vital para plantas y animales. *Agricultura de las Americas*, Mexico, 3:34-41.
- BRAR, M.S. e G.S. SEKHON. 1976a. Interaction of zinc with other micronutrient cations. I. Effect of copper on zinc<sup>65</sup> absorption by wheat seedlings and its translocation within the plants. *Plant and Soil*, Hague, 45:137-143.
- BRAR, M.S. e G.S. SEKHON. 1976b. Interaction of zinc with other micronutrient cations. II. Effect of iron zinc<sup>65</sup> absorption by rice seedlings and its translocation within the plants. *Plant and Soil*, Hague, 45:145-150.
- BRASIL S<sup>o</sup>, M.O.C.; O. FREIRE; I.O. ABRAHÃO; A. MARCONI, 1979. Zinco no solo e na planta. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, 54(3):139-148.
- CARNEIRO, A.M. e J. DOBEREINER. 1968. Sobrevivência de bactérias assimiobóticas fixadoras de nitrogênio na rizosfera do arroz. *Pesq. Agropec. Bras.*, Rio de Janeiro, 3:151-157.
- CHANDLER, R.F. 1969. Plant morphology stand geometry in relation to nitrogen. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, E.Y.; Van BAVEL, C.H.M., eds. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, cap. 12, 265-289.

- CHAPMAN, H.D. 1966. Sulphur. In: CHAPMAN, H.D. ed. *Diagnostic criteria for plants and soil*. Riverside, University of California, p. 469-470.
- CHAUDRY, F.M. e S.M. ALAM. 1977. Mechanism of differential susceptibility of two varieties to zinc deficiency. *Plant and Soil*, Hague, 46:637-642.
- DEL RIVERO, J.M. 1968. *Los estados de carencia en los agrios*. Madrid, Mundi Prensa, 510 p.
- DEV, G. e S. SAGGAR. 1971. Effect of sulfur fertilization on the N/S ratio in soybean varieties. *Agron. J.*, Washington, 66:454-456.
- DIJKS HOORN, W.; I.S.A. SUJITNO; M. ISMUNADJI. 1974. Potassium uptake by rice plants and interaction with other cations. *Plant and Soil*, Hague, 40:525-534.
- ENGLER, R.M. e W.H. PATRICK. 1975. Stability of sulfides on manganese iron, zinc, copper and mercury in flooded and non flooded soil. *Soil Sci.*, New Brunswick, 119(3):217-221.
- EPPENDORFER, W.H. e S.W. BILLE. 1974. Aminoacid composition as a function of total N in pea seeds grown on two soils with P and K additions. *Plant and Soil*, Hague, 41:33-39.

- EPSTEIN, E. 1975. *Nutrição mineral das plantas. Princípios e perspectivas.* Rio de Janeiro, Livro Técnico Científico. 341 p. (Tradução e notas de E. MALAVOLTA).
- EVANS, H.J. e O.J. SORGER. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, 17:47-77.
- EVATT, N.S. 1964. Timing of nitrogenous fertilizer applications. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º, Los Baños, 1964. *Proceedings...*
- FAGERIA, N.K. 1976a. Critical P, K, Ca and Mg contents in the tops of rice and peanuts. *Plant and Soil*, Hague, 45(2):421-431.
- FAGERIA, N.K. 1976b. *Identificação de distúrbios nutricionais do arroz e sua correção.* Goiânia, CNPAF. 22 p. (Boletim Técnico, 2)
- FAGERIA, N.K. 1980. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 15(3):259-265.
- FAGERIA, N.K. e M.P. BARBOSA Fº. 1980. *Recomendação para uso de fertilizante fosfatado para a cultura de arroz de sequeiro.* Goiânia, CNPAF. 19 p. (Circular Técnica, 3).

- FAGERIA, N.K. e J. KLUTHCOUSKI. 1980. Metodologia para avaliação das cultivares de arroz e feijão, para condições adversas de solo. Goiânia, CNPAF, 22 p. (Circular Técnica, 8).
- FAGERIA, N.K. e G.E. WILCOX. 1977. Influência do nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. *Lavoura Arrozoeira*, Porto Alegre, 30: 24-28.
- FENG, M.P. 1968. Método de aplicação da potassa no arroz de Taiwan. *Fertilité*, Paris, 31:27-41.
- FLOR, M.C.A.; R. CHEANEY; P.S. NEIRA: 1974. O problema da deficiência do zinco em arroz. *Lavoura Arrozoeira*, Porto Alegre, 27(282):20-23.
- FOY, C.D.; R.L. CHANEY; M.C. WHITE. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, 29:511-566.
- FUJIWARA, A. 1964. The specific roles of nitrogen, phosphorus, and potassium in the metabolism of the rice plant. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 49, Los Baños, IRRI, p. 93-106.
- FURLANI, P.R.; O.C. BATAGLIA; A.M.C. FURLANI; L.E. AZZINI; N. C. SCHMIDT. 1977. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 36(8):109-115.

- GALLO, J.R.; F.R.P. MORAES e L.T. MIRANDA. 1968. A análise foliar na nutrição do milho. I. Correlação entre análise de folhas e produção. *Bragantia*, Campinas, 27(15):171-186.
- GALRÃO, E.Z. e M.V. MESQUITA F. 1981. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa* L) e do milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. *R. Bras. Di. Solo*, Campinas, 5:72-75.
- GARGANTINI, H. e H.G. BLANCO. 1965. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. *Bragantia*, Campinas, 24(38):515-528.
- GEUS, J.G. 1973. In: \_\_\_\_\_. *Fertilizer guide for tropics and subtropics*, 2.ed. Zurich. Centre d'Etude de l'Azote. p. 36-66.
- GILMOUR, J.T. 1977a. Micronutrient status of the rice plant. I. Plant and soil solution concentrations as a function of time. *Plant and Soil*, Hague, 46:549-557.
- GILMOUR, J.T. 1977b. Micronutrient status of the rice plant. II. Micronutrients uptake rate as a function of time. *Plant and Soil*, Hague, 46:559-564.
- GIORDANO, P.M. e J.J. MORTVEDT. 1972. Rice response to zinc in flooded and nonflooded soil. *Agron. J.*, Washington, 64:521-524.



GIORDANO, P.M.; J.C. NOGGLE e J.J. MORTVEDT. 1974. Zinc uptake by rice affected by metabolic inhibition and competing cations. *Plant and Soil*, Hague, 41:637-646.

GIUDICE, R.M.; E.M. FREIRE e R.T. TANAKA. 1979. Nutrição mineral e adubação do arroz. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 5(55):40-50.

GOEDERT, W.J.; J.F. PATELLA e J.F.V. MORAIS. 1971. Formas de fósforo num planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. *Pesq. Agropec. Bras.*, Rio de Janeiro, 6:39-43.

GRUNES, D.L. 1959. Effect of nitrogen on the availability of soil and fertilizer phosphorus to plants. *Advances in Agronomy*, New York, 11:369-396.

HALDAR, M. e L.N. MANDAL. 1981. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper and manganese nutrition of rice. *Plant and Soil*, Hague, 59:415-425.

HAQUE, I. e D. WALRUSLEY. 1974. Incubation studies on mineralization of organic sulphur and organic nitrogen. *Plant and Soil*, Hague, 37:255-264.

HAQUE, I.; R.T. ODELL; W.M. WALKER e C.S. KAMARA. 1979.

Micronutrient cation survey of lowland rice in Sierra Leone.  
*Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, New York,  
10(6):981-992.

IAPAR. 1980. *Cultura do arroz no Estado do Paraná*. Londrina,  
IAPAR. 62 p. (Circular, 19).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. 1966. *Potassium and japonica  
rice. Summary of 25 years research*. Berna, International  
Potash Institute. 102 p. (Boletim Técnico).

IRRI, Los Baños. 1968a. *Annual Reporter for 1967*. p. 37-38.

IRRI. Los Baños. 1968b. *Annual Reporter for 1967*. p. 380-40.

IRRI. Los Baños. 1970a. *Annual Reporter for 1969*. p. 31-40.

IRRI. Los Baños. 1970b. *Annual Reporter for 1969*. p. 152-161.

IRRI. Los Baños. 1972a. *Annual Reporter for 1971*. p. 60-63.

IRRI. Los Baños. 1972b. *Annual Reporter for 1971*. p. 43-46.

ISHIZUKA, Y. 1964. Nutrient uptake at different stages of  
growth. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE  
PLANT, 49, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI.  
p. 199-217.

- ISHIZUKA, Y. 1969. Engineering for higher yields. In: EASTIN, J.D.; F.A. HASKINS; C.Y. SULLIVAN; C.H.M.V. BAVEL, eds. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, American Society of Agronomy. cap. 2, p. 15-26.
- ISHIZUKA, Y. 1971. Physiology of the rice plant. *Advances in Agronomy*, New York, 23:241-309.
- ISMUNADJI, M. e J. ZULKARNAINI. 1977. Sulphur deficiency in iowland rice in Indonesia. In: SOCIETY SCIENCE SOIL MANURE, Tokio, 1977. *Proceedings of a symposium on tropical agriculture research*. Tokio. p. 647-652.
- ISMUNADJI, M. e M. MIYAKE. 1978. Sulphur application and aminoacid content of brown rice. *JARQ*, Tokio, 12,(3): 180-182.
- JOHNSON, C.M. e A. ULRICH. 1959. *Analytical methods*. Univ. California Agric. Exp. Sta., Berkeley (Bulletin, 766).
- JONES, J.B. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In: *Micronutrients in agriculture*. Proceedings Soil Science Society of America, Ann Arbor, 319-341.
- JORDAN, H.V. e L.E. ENSMINGER. 1958. The role of sulfur in soil fertility. *Advances in Agronomy*, New York, 10:407-434.
- KARIM, A.Q.M.B. e J. VLAMIS. 1962. Micronutrient deficiency symptoms of rice grown in nutrient culture solutions. *Plants and Soil*, Hague, 16(3):347-360.

- KASAI, E. e K. ASADA. 1964. Translocation of mineral nutrients and other substances within the rice plant. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI, p. 75-92.
- KATYAL, J.C. e F.N. PONNAMPERUMA. 1974. Zinc deficiency: a widespread nutritional disorder of rice in Agusan del Norte. *The Phillipine Agriculturist*, Los Baños, 58(3-4): 78-79
- KOCK, K. e K. MENGEL. 1977. Effect of K on N utilization by spring wheat during grain protein formation. *Agron. J.*, Washington, 69:477-480.
- KOYAMA, T. e P. SNITWONGSE. 1971. Rice varietal differences in absorbing P from soil low in available P. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 17:186-194.
- KULASOORIYA, S.A.; P.A. ROGER; W.L. BARRAQUIO e I. WATANABE. 1980. Biological nitrogen fixation by epiphytic microorganisms in rice fields. *IRPS*, Los Baños, 47:1-10.
- KUMAR, V e M. SINGH. 1980. Interactions of sulfur, phosphorus, and molybdenum in relation to uptake and utilization of phosphorus by soybean. *Soil Sci.*, New Brunswick, 30(1): 26-31.
- KRUG, F.J.; H. BERGAMIN Fº; E.A.G. ZAGATTO e S.S. JORGENSEN. 1977. Rapid determination of sulphate in natural waters and plant digest continuous flow infection. *Analyst*, London, 122:503-508.

- LOCKARD, R.G.; J.G. BALLOUX e E.A. LIONGSON. 1972. Response of rice plants grown in three potted Luzon soils to additions of boron, sulfur and zinc. *Agron. J.*, Washington, 64(4):444-447.
- LOURENÇO, S.; O.J. CROCOMO; I.R. NOGUEIRA e E. MALAVOLTA. 1968. Kinetic studies of phosphorus uptake by excised roots by barley in the presence of magnesium. *An. Acad. Bras. Cienc.*, Rio de Janeiro, 40(2):171-179.
- MALAVOLTA, E. e O. LOPEZ GOROSTIAGA. 1974. Studies on the zinc phosphate relations in plant. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS, 7º, Hannover, 1974. *Proceedings...*, Hannover, p. 261-272.
- MALAVOLTA, E. 1975. Práticas de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, ESALQ. 65 p. (mimeografado).
- MALAVOLTA, E. 1978a. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M.G., Coord. *Fisiologia Vegetal 1*. São Paulo, EDUSP, p. 77-113.
- MALAVOLTA, E. 1978b. *Nutrição mineral e adubação do arroz irrigado*. São Paulo, Ultrafértil. 64 p. (Boletim Técnico).
- MALAVOLTA, E. 1979a. *Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro*. São Paulo, Ultrafértil. 40 p. (Boletim Técnico).

- MALAVOLTA, E. 1979b. *Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. Piracicaba, Instituto de Potassa - Fosfato. 92 p. (Boletim Técnico, 4).
- MALAVOLTA, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Edit. Agronômica Ceres. 251 p.
- MANDAL, L.N. e M. HALDAR. 1980. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese, and phosphorus in waterlogged rice soils. *Soil Science*, New Brunswick, 130(5):120-126.
- MARTIN, W.E. e J.E. MATOCHA. 1973. Plant analysis as an aid in the fertilization of forage crops. In: WALSH, L.M. e J.D. BEATON, eds. *Soil testing of plant analysis*. Madison, Soil Sci. Soc. Am. p. 393-426.
- MATSUSHIMA, S. 1976a. The relation between the time of nitrogen application and the percentage of ripened grains. In: \_\_\_\_\_ *High yielding rice cultivation*. Tokyo, Japan. Scientific Societies. cap. 2, p. 11-20.
- MATSUSHIMA, S. 1976b. Demonstrations of the principle for obtaining high yields through the "ideal rice plants". In: *High yielding rice cultivation*. Tokyo, Japan. Scientific Societies. cap 5, p. 99-134.

- MATSUSHIMA, S. 1976c. Safe and stable rice cultivation through "ideal plants". In: *High yielding rice cultivation*. Tokyo, Japan. Scientific Societies. cap. 7, p. 155-180.
- MATSUSHIMA, S. 1980. Diagnosis on the mineral conditions of the rice plant by means of the color and the shape of leaves. In: *Rice cultivation for the million*. Tokyo, Japan. Scientific Societies. cap. 2. 12, p. 78-80.
- MAYNARD, D.N.; A.V. BARKER e W.H. LACHMAN. 1968. Influence of potassium on the utilization of ammonium by tomato plants. *Amer. Soc. Hort. Sci.*, Geneva, 92:543-552.
- MEDEIROS, A.A. e E. MALAVOLTA. 1980a. Exigências nutricionais do arroz (*Oryzae sativa* L.) cv. IAC 47 e IAC 435. *Anais da ESALQ*. Piracicaba, 37:401-418.
- MEDEIROS, A.A. e E. MALAVOLTA. 1980b. Sobre a possibilidade de correção de deficiências minerais no arroz (*Oryzae sativa* L. cv. IAC 47 e IAC 435). *Anais da ESALQ*. Piracicaba, 37:373-399.
- MENGEL, K.; A. MAIJAVIRO e G. HELL. 1976. Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium-nitrogen of rice plants. *Plant and Soil*, Hague, 44:547-558.

- METCALFE, D.S. e D.M. ELKINS. 1980. *Crop production. Principles and practices*. New York, MacMillan. 610 p.
- MITSUI, S. 1964. Dinamic aspects of nutrient uptake. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI, p. 53-62.
- MURATA, Y. 1969. Physiological responses to nitrogen in plants. In: EASTIN, J.D.; F.A. HASKINS, C.Y: SULLIVAN e C.H.M.V. BAVEL, Eds. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, American Society of Agronomy. cap. 11, p. 235-263.
- MURATA, Y. e S. MATSUSHIMA. 1978. Rice. In *Crop Physiology*. 4. ed. London, Cambridge University Press. Cap. 4, p. 73-99.
- MURAYAMA, N. 1964. The influence of mineral nutrition on the characteristics of plant organs. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º, Los Baños, IRRI. p. 147-172.
- NOMOTO, K. 1969. The importance of fertilization for increasing rice production. In: SYMPOSIUM ON OPTIMIZATION OF FERTILIZER EFFECT IN RICE CULTIVATION, 1º, Tokyo, 1969. *Proceedings...* Tokyo, Tropical Agriculture Research. p. 11-12.



OHKI, K. 1977. Manganese and zinc status related to maximum growth for selected agronomic crops. In: SOCIETY SCIENCE SOIL MANURE. Tokyo, 1977. *Proceedings of symposium on tropical agriculture research*. Tokyo. p. 660-668.

OKAJIMA, H. 1964. Environmental factors and nutrient uptake In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4<sup>o</sup>, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI. p. 63-71.

OSINAME, O.A. e B.T. KANG. 1975. Response of rice to sulphur application under upland conditions. *Commun. in Soil Sci., and Plant Analysis*, New York, 6(6):585-598.

OTA, Y. 1969. The roles of root systems of rice plants in relation to the functions of aerial parts. In: SYMPOSIUM ON OPTIMIZATION OF FERTILIZER EFFECT IN RICE CULTIVATION, 1<sup>o</sup>, Tokyo, 1969. *Proceedings...* Tokyo, Tropical Agriculture Research. p. 89-101.

PATELLA, J.F. e A.M.L. NEPTUNE. 1970. Relação N/K na adubação do arroz e seu teor na planta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RADIOISÓTOPOS, 1<sup>o</sup>, Rio de Janeiro, 1970. *Resumo...* Rio de Janeiro, CNEN. 35 p.

- PATRICK, W.H. e D.S. MIKKELSEN. 1971. Plant nutrient behavior in flooded soil. In: *Fertilizer technology and use*. 2 ed. Madison, Soil Science Society of America. p. 223-226.
- PEREIRA, J.F. e A. CORDERO VAZQUEZ. 1964. *Sintomas de las deficiencias de algunos minerales en plantas de arroz cultivados em solução nutritiva*. San José, Min. Agric. y Ganaderia da Costa Rica. 16 p. (Boletim Técnico, 48).
- PONNAMPERUMA, F.N. 1964. Review of the symposium on the mineral nutrition of the rice plant. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4º, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI. p. 461-482.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, 24:29-96.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1977. *Screening rice for tolerance mineral stresses*. Los Baños, IRRI. 21 p. (IRRI Research Paper Series, 6).
- PRABHU, A.S. 1980. *Sistema de produção de arroz de sequeiro visando o controle de bruzone*. Goiânia, CNPAF. 15 p. (Circular Técnica, 1).

- RAMOS, M.G.; J.A. ZANINI, D.A. MOREL, J.A. NOLDIN, L.F. MARQUES,  
L. MIURA, A.F. SCHMITT, J.F. FROSI e D. A. ALTHOFF. 1981.  
*Manual de produção do arroz irrigado*. Florianópolis,  
EMPASC/ACARESC, 225 p.
- RAO, N.N.; C.C. BIDDAPPA e V SARKUNAN. 1980. Sulphur deficiency  
and toxicity in rice. *Sulphur in Agriculture*, Washington,  
4:25-26.
- RASHID, A.; F.M. CHAUDRY e M. SHARIFF. 1976. Micronutrient  
availability to cereals from calcareous soils. III. Zinc  
absorption by rice and its inhibition by important ions  
of submerged soils. *Plant and Soil*, Hague, 45:613-623.
- REDDY, K.R.; M.C. SAXENA e V.R. PAL. 1978. Effect of iron  
and manganese on Zn<sup>65</sup> absorption and translocation in  
soybean seedlings. *Plant and Soil*, Hague, 49:409-415.
- REYES, E.D.; J.G. DAVIDE; L.G. ORARA e R.A. CALIXIHAN. 1962.  
Nitrogen, phosphorus and potassium uptake by a lowland rice  
variety at different stages of growth. *The Philippines  
Agriculturist*, Los Baños, 46(1):7-19.
- ROBSON, A.D.; D.G. ADWARDS e J.F. LONERAGAN. 1970. Calcium  
stimulation of phosphate absorption by annual legumes.  
*Australian J. Agric. Res.*, Melbourne, 21:601-612.

- ROSSEL, R.A. e A. ULRICH. 1964. Critical Zn concentration and leaf minerals of sugar beet plants. *Soil Sci.*, New Brunswick, 97:152-167.
- RUSSEL, E.W. 1973. The chemistry of waterlogged soils. In: \_\_\_\_\_ *Soil conditions and plant growth*. 10. ed. New York, Longman. p. 670-695.
- SANCHEZ, P.A. 1975. Soil management in tice cultivation systems. In: \_\_\_\_\_ *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Willey. Cap. 11, p. 413-477.
- SÃO PAULO. 1980. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Instituto de Economia Agrícola, São Paulo. *Prognóstico* 80/81.
- SIMÕES, R.D.H. 1979. Aspectos gerais da economia de arroz. In: REUNIÃO DE TÉCNICOS EM RIZICULTURA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1ª, Campinas, 1979. *Anais...* Campinas, Secretaria da Agricultura. p. 33-39.
- SINGH, M e S.P. SINGH. 1980. Zinc and phosphorus interaction in submerged paddy. *Soil Sci.*, New Brunswick, 129(5): 282-289.
- SIRCAR, S.M. e N.K. SEN. 1971. Effect of phosphorus deficiency on growth and nitrogen metabolism in tice leaves. *Indian Journ. Agriculture Sci.*, New Delhi, 11:193-204.

- SOARES, P.C.; O.P. MORAIS; A.F. SOUZA; e R.M. GIUDICE.  
1979. Preparo do solo, época e densidade de plantio.  
*Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 5(55):33-39.
- SOUZA, D.M. e R. HIROCE. 1970. Diagnose e tratamento preventivo no solo, de deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro em solos com pH abaixo de 7. *Bragantia*, Campinas, 29(9):91-103.
- SUZUKI, A. 1978. Sulfur nutrition and diagnosis of sulfur deficiency of rice plants. *JARQ*, Tokyo, 12(1):7-11.
- TALLEY, S.N.; B.J. TALLEY e W. RAINS. 1977. Nitrogen fixation by *Azolla* in rice fields. In: HOLLANDER, A., Ed. *Genetic engineering for nitrogen fixation*. New York, Plenum Press. p. 259.
- TAKASHI, J. 1960. O potássio e a cultura do arroz. *Fertilité*, Paris, 11:13-16.
- TAKAHASHI, J. 1964. Natural supply of nutrients and plants requirements. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 49, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI, p. 271-293.

- TANAKA, A. 1964. Plant characters related to nitrogen response in rice. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 4<sup>o</sup> Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI. p. 419-448.
- TANAKA, A. 1969. Physiological basis for fertilizer response of rice varieties. In: SYMPOSIUM ON OPTIMIZATION OF FERTILIZER EFFECT IN RICE CULTIVATION, 1<sup>o</sup> Tokyo, 1969. *Proceedings...* Tokyo, Tropical Agriculture Research. p. 37-43.
- TANAKA, A. e S. YOSHIDA. 1970. *Nutritional disorders of the rice plant in Asia*. Los Baños, IRRI. 50 p. (Bulletin).
- UEXKULL, H.R. 1976. *Aspects of fertilizer use in modern high yield rice culture*. Berne, International Potash Institute. 74 p. (Bulletin, 3).
- ULRICH, A. 1948. Plant analysis - Methods and interpretation of results. In: AMERICAN POTASH INSTITUTE, Washington. *Diagnostic techniques for soils and crops*. Washington. p. 157-198.
- ULRICH, A. e W.L. BERRY. 1961. Critical phosphorus levels for lima bean growth. *Plant Physiol.*, Lancaster, 36:626-632.

- ULRICH, A e F.J. HILLS. 1967. Principles and practices of plant analysis. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Madison. *Soil testing and plant analysis*. Part 2: Plant analysis. Madison. p. 11-24.
- VELASCO, J. e R. HOLASO. 1958. Growth of rice plants to maturity in nutrient culture. *Philippines Agriculturist*, Los Baños, 42(5):145-162.
- WALLACE, A. 1974. Isotope-aided micronutrient studies in rice production with special reference to zinc deficiency. In: FAO/IAEA, Viena. *Movement of micronutrients to plant roots, their uptake and translocation*. Viena, p. 115-139.
- WALLIHAN, E.F. e R.G. SHARPLESS. 1974. Effect of sulfur supply on the optimum concentration of nitrogen in leaves of the rice plant. *Soil Sci.*, New Brunswick, 118(5):304-307.
- WALLIHAN, E.F.; J.C. MOOMAW e S.K. DATTA. 1974. Variable optimum concentrations of nitrogen in rice plants. *Soil Sci.*, New Brunswick, 118(4):263-266.
- WANG, C.H. 1979. Sulphur fertilization of rice. Diagnostic techniques. *Sulphur in Agriculture*, Washington, 3:12-15.

- WANG, C.H.; T.H. LIEM e D.S. MIKKELSEN. 1976a. *Sulfur deficiency: a limiting factor in rice production in the lower Amazon Basin. I. Development of sulfur deficiency as a limiting factor for rice production.* São Paulo, IRI, 46 p. (IRI Tech. Bull., 47).
- WANG, C.H.; T.H. LIEM e D.S. MIKKELSEN. 1976b. *Sulfur deficiency: a limiting factor in rice production in the lower Amazon Basin. II. Sulfur requirements for rice production.* São Paulo, IRI, 38 p. (IRI, Tech. Bull., 48).
- WARD, R.C.; D.A. WHITNEY e D.G. WESTFALL. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing small grains. In: WALSH, L.M. e J.D. BEATON, Eds. *Soil testing and plant analysis.* Madison, Soil Sci. Soc. Am. p. 329-348.
- WELLS, B.R. 1980. *Zinc nutrition of rice growing on Arkansas soils.* Fayetteville, University of Arkansas. 16 p. (Bulletin, 848).
- YAMASAKI, T. 1964. The role of microelements. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, 49, Los Baños, 1964. *Proceedings...* Los Baños, IRRI. p. 107-121.



YAMASAKI, T. 1968. Possibilidades para aumentar o rendimento do arroz pela maior aplicação de adubos. *Fertilité*, Paris, 31:3-19.

YOSHIDA, S. 1975. Factor that limits the growth and yields of upland rice. In: IRRI, Los Baños. *Major research in upland rice*. Los Baños, IRRI. Cap. 3, p. 45-90.

YOSHIDA, T. e F.E. BROADBENT. 1975. Movement of atmospheric nitrogen in rice plants. *Soil Sci.*, New Brunswick, 120(4):288-291.